



**Carla Liliana Viana dos Reis Melhoria do processo de soldadura por resistência
variante projecção: caso de estudo**



Carla Liliana Viana dos Reis **Melhoria do processo de soldadura por resistência
variante projecção: caso de estudo**

Relatório de projecto apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizado sob a orientação científica da Professora Doutora Helena Maria Pereira Pinto Dourado e Alvelos, Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro, e co-orientação do Professor Doutor Luís Miguel Domingues Fernandes Ferreira, Professor Auxiliar Convidado do Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro

Dedico este trabalho ao meu Pai e à minha Mãe, por tudo o que representam para mim e pelo constante incentivo.

o júri

presidente

Professora Doutora Maria João Machado Pires da Rosa
professora auxiliar da Universidade de Aveiro

vogais

Professor Doutor Cristóvão Silva
professor auxiliar do departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (arguente)

Professora Doutora Helena Maria Pereira Pinto Dourado e Alvelos
professora auxiliar da Universidade de Aveiro (orientadora)

Professor Doutor Luís Miguel Domingues Fernandes Ferreira
professor auxiliar convidado da Universidade de Aveiro (co-orientador)

agradecimentos

É com muita satisfação que expresso aqui o mais profundo agradecimento a todos aqueles que directa ou indirectamente, tornaram a realização deste projecto possível, contribuindo para o sucesso do mesmo.

À Professora Doutora Helena Alvelos, minha orientadora, pela valiosa orientação, pelos preciosos ensinamentos, pelo incansável apoio, dedicação, incentivo e disponibilidade demonstrada em todas as fases que levaram à concretização deste trabalho.

Ao Professor Doutor Luís Ferreira, meu co-orientador, pela disponibilidade demonstrada.

À Gestamp Aveiro pela oportunidade de realização do Estágio.

À Dr.^a Andreлина Alves, Directora de Recursos Humanos da Gestamp Aveiro, pela oportunidade, preocupação e confiança depositada.

Ao Eng. Bernhard Feyer Gebhard, Director Industrial da Gestamp Aveiro, pela experiência e ensinamentos que transmitiu, pelo interesse com que apoiou a realização deste projecto, e por todo o apoio prestado ao longo destes meses.

Ao Departamento de Produção, pelo apoio, acolhimento, acompanhamento e ensinamentos.

Ao Sérgio, por toda a compreensão e apoio incondicional que tem demonstrado, acreditando sempre em mim, mesmo nas situações em que o cansaço e o desânimo me fragilizaram. E por tudo o mais que ele sabe que representa.

Por último mas não em último, à minha Mãe, pela sua ternura, carinho, dedicação, apoio, que mesmo em situações difíceis, nunca deixou que me faltasse disponibilidade para a conclusão deste projecto. Ao meu Pai, um exemplo de força, dedicação, perseverança e princípios. Sem eles não teria sido possível vencer mais um desafio.

O meu Muito Obrigada!

palavras-chave

soldadura por resistência, soldadura por projecção, qualidade da soldadura, força de arrancamento, capacidade do processo.

resumo

A soldadura é um dos processos de união de metais mais utilizado na indústria automóvel.

A soldadura por resistência variante projecção é objecto de estudo neste trabalho, analisando-se a sua qualidade através de um ensaio destrutivo, no qual é registada a força de arrancamento da união entre chapa metálica e vários tipos de porcas. Estudam-se algumas das causas possíveis da variabilidade da força de arrancamento e analisa-se a capacidade do processo. Estuda-se, também, a influência dos factores espessura da chapa, localização das porcas e número de soldaduras dos eléctrodos na força de arrancamento.

As técnicas utilizadas nas análises efectuadas foram essencialmente os testes de hipóteses e a análise de variância.

Não se pôde concluir que, isoladamente, os factores estudados tenham influência significativa no valor da força de arrancamento. Existirão, portanto, outros factores que, isoladamente ou em conjunto, estarão associados à elevada dispersão dos valores da força de arrancamento.

Em relação aos factores espessura da chapa e localização dos elementos soldados, verificou-se que influenciam significativamente a força de arrancamento. Quanto à influência do número de soldaduras dos eléctrodos na força de arrancamento, verificou-se, para o caso de estudo em questão e na gama de valores considerados, que não há evidências significativas da existência de uma relação entre estas duas variáveis.

keywords

resistance welding, projection welding, quality welding, force of pulling, process capability.

abstract

The welding is one of the processes of metal union more used in the automobile industry.

The object of study in this work is the resistance projection welding, by analyzing its quality through a destructive testing, in which the force of pulling up between the steal and several types of nuts is registered. Studies are made to the possible causes of the variability of the pulling up force and the process capability is analyzed. The influence of factors like, steal thickness, nuts position, number of welds of the electrodes in the pulling up force are also elements of study.

The techniques used in the analyses performed were essentially the hypothesis testing and Analysis of Variance.

It wasn't possible to conclude that, separately, the studied factors have significant influence in the value of the pulling up force. Therefore, it exist other factors that, separately or in set, are related with the large dispersion of the values of the pulling up force.

Regarding the steal thickness and position of the welded elements it was evidenced that they significantly influence the pulling up force. Considering the influence of the number of welds of the electrodes in the pulling up force (for this specific study and the range of values considered) it was verified that there are no significant evidences of the existence of a relation between these two variables.

ÍNDICE

Índice de figuras	iii
Índice de gráficos	iv
Índice de tabelas	v
Capítulo 1. Introdução	1
1.1 Âmbito do projecto	1
1.2 Objectivos do projecto	2
1.3 Estrutura do relatório	3
Capítulo 2. Processos de Soldadura	5
2.1 Definição de soldadura	5
2.2 Breve história da soldadura	5
2.3 Processos de soldadura	6
2.4 Soldadura por resistência	7
2.5 Fundamentos do processo de soldadura por projecção	9
2.6 Parâmetros de soldadura por resistência	12
2.7 Eléctrodos	14
2.7.1 Desgaste dos eléctrodos	14
Capítulo 3. Qualidade na Indústria	15
3.1 Evolução histórica da Qualidade	15
3.2 Gestão pela Qualidade Total	16
3.3 Algumas técnicas utilizadas no âmbito da Gestão da Qualidade	17
3.3.1 Formulário de recolha de dados	17
3.3.2 <i>Brainstorming</i>	17
3.3.3 Diagrama de Causa-e-Efeito	18
3.3.4 Fluxograma	19
3.3.5 5S	20
3.3.6 Ferramentas estatísticas aplicadas à Qualidade	22
3.3.6.1 Histograma	22
3.3.6.2 Diagrama de dispersão	22
3.3.6.3 Teste de hipóteses	23
3.3.6.4 Anova	24
3.3.6.5 Análise da Capacidade do Processo	24
Capítulo 4. Desenvolvimento do Projecto	27
4.1 Apresentação da empresa	27
4.2 Breve evolução histórica da empresa	27

4.3	Organização da empresa.....	28
4.4	Descrição do processo produtivo	29
4.5	Desenvolvimento do Projecto	30
4.5.1	Introdução	30
4.5.2	Metodologia	31
4.5.3	Ensaio de arrancamento.....	31
4.5.4	Organização da informação relativa aos ensaios de arrancamento	32
4.5.4.1	Identificação dos componentes soldados de cada referência	32
4.5.4.2	Uniformização dos acessórios de ensaio	32
4.5.5	Desenvolvimento de um formulário de recolha de dados	33
4.5.6	Implementação da ferramenta 5S	34
4.5.7	Estudo da força de arrancamento	39
4.5.7.1	Estudo estatístico da força de arrancamento de porcas M8 e M10	39
4.5.7.2	Possíveis causas da variabilidade da força de arrancamento	45
4.5.7.3	Definição, implementação e avaliação da eficácia das acções correctivas	46
4.5.7.4	Análise da capacidade do processo	68
4.5.7.5	Influência do factor espessura da chapa na força de arrancamento.....	71
4.5.7.6	Influência do factor localização da porca na força de arrancamento	72
4.5.7.7	Estudo do tempo de vida dos eléctrodos e influência do número de soldaduras dos eléctrodos na força de arrancamento.....	75
	Capítulo 5. Conclusões.....	77
5.1	Conclusões gerais	77
5.2	Limitações do trabalho.....	78
5.3	Perspectivas de trabalho futuro	79
	Referências Bibliográficas	81
	Sites Consultados	82
	Anexos.....	83
	Anexo A. Prensa hidráulica manual - ensaios de arrancamento.	84
	Anexo B. Instrução de Trabalho – Ensaio de Arrancamento	85
	Anexo C. Fluxograma do processo de ensaio de arrancamento.	86
	Anexo D. Acessórios de ensaios de arrancamento numerados.	87
	Anexo E. Formulário de recolha de dados - folha de rosto.	88
	Anexo F. Prensa de ensaios de arrancamento - forma automática.	89
	Anexo G. Comparação múltipla de médias - factor localização da porca.....	90
	Anexo H. Eléctrodos.	91

Índice de figuras

Figura 1. Processos de soldadura por resistência.	8
Figura 2. Máquina de soldadura por resistência.	10
Figura 3. Resistências eléctricas encontradas pela corrente na soldadura por resistência.	10
Figura 4. Formação do ponto de soldadura.	11
Figura 5. Variação da resistência à passagem da corrente em função da força de aperto.	12
Figura 6. Diagrama de Ishikawa (Causa-e-Efeito).	19
Figura 7. Gestamp Aveiro.	27
Figura 8. Organigrama geral da Gestamp Aveiro.	28
Figura 9. Processo produtivo.	29
Figura 10. Soldadura de porcas.	30
Figura 11. Componentes soldados.	30
Figura 12. Ensaio de compressão a porcas e a parafusos soldados.	31
Figura 13. Peças sem numeração das porcas.	32
Figura 14. Peças com numeração das porcas.	32
Figura 15. Formulário específico para peças de maior criticidade.	34
Figura 16. 5S - antes e após a 1ª etapa.	35
Figura 17. 5S - antes e após a 2ª etapa.	36
Figura 18. 5S - após a 3ª etapa.	37
Figura 19. Após a 4ª etapa.	38
Figura 20. Peças estudadas - a) referências 092 e b) referências 268.	39
Figura 21. Diagrama de Causa-e-Efeito - variabilidade da força de arrancamento.	45
Figura 22. Ensaio de arrancamento a uma porca centrada e não centrada.	47
Figura 23. Ponto de passagem de corrente entre peças e o porta-eléctrodos da prensa 1.	57
Figura 24. Porta eléctrodos após a rectificação de 3mm e colocação de celerom.	59
Figura 25. Peças 230 e 231 - factor localização das porcas.	73
Figura A1. Prensa de ensaios de arrancamento - prensa manual.	84
Figura A2. Prensa de ensaios de arrancamento - prensa manual com utilização da alavanca.	84
Figura B1. Ensaio de compressão em porcas soldadas.	85
Figura B2. Ensaio de compressão em parafusos soldados.	85
Figura H1. Eléctrodos após n soldaduras.	91
Figura H2. Eléctrodos novos.	91

Índice de gráficos

Gráfico 1. Diagrama tipo caixa - amostra inicial da referência 268.	39
Gráfico 2. Diagrama tipo caixa - amostra inicial da referência 092.	40
Gráfico 3. Desvio padrão das porcas M8 e M10 - amostras iniciais das referências 268/092.	44
Gráfico 4. Médias obtidas nos ensaios de arrancamento - acessórios antigos e novos.	50
Gráfico 5. Desvio padrão obtido nos ensaios de arrancamento - acessórios antigos e novos.	50
Gráfico 6. Médias da força de arrancamento - máquina do laboratório e automática.	63
Gráfico 7. Desvio padrão da força de arrancamento - máquina do laboratório e automática.	63
Gráfico 8. Histograma das porcas M8 e M10 da referência 268 (máquina automática).	70
Gráfico 9. Histograma das porcas M8 e M10 da referência 092 (máquina automática).	70
Gráfico 10. Diagrama tipo de caixa - factor localização das porcas.	73
Gráfico 11. Diagrama de dispersão das porcas M6 nº5 e M6 nº8.	76

Índice de tabelas

Tabela 1. Estatísticas descritivas - amostra inicial da referência 268.	39
Tabela 2. Estatísticas descritivas - referência 268, porca nº1 M8 sem o outlier.	40
Tabela 3. Estatísticas descritivas - amostra inicial da referência 092.	40
Tabela 4. Teste à normalidade - amostra inicial da referência 268.	41
Tabela 5. Teste à homogeneidade de variâncias - amostra inicial da referência 268.....	41
Tabela 6. Anova a um factor - amostra inicial da referência 268.....	42
Tabela 7. Comparação múltipla de médias - amostra inicial da referência 268.	42
Tabela 8. Teste à normalidade - amostra inicial da referência 092.	43
Tabela 9. Teste à homogeneidade de variâncias - amostra inicial da referência 092.....	43
Tabela 10. Anova a um factor - amostra inicial da referência 092.....	43
Tabela 11. Comparação múltipla de médias - amostra inicial da referência 092.	44
Tabela 12. Estatísticas descritivas - orientação das protuberâncias, referência 092.....	47
Tabela 13. Teste à normalidade - orientação das protuberâncias.....	48
Tabela 14. Independent Samples Test - orientação das protuberâncias.	48
Tabela 15. Diâmetros dos acessórios antigos e dos acessórios novos.	49
Tabela 16. Estatísticas descritivas - acessórios antigos e acessórios novos (referência 268).	49
Tabela 17. Teste à normalidade - acessórios antigos e acessórios novos.	51
Tabela 18. Independent Samples Test - acessórios antigos e acessórios novos.	51
Tabela 19. Estatísticas descritivas - separação das massas da prensa 1.	52
Tabela 20. Estatísticas descritivas - antes e depois da separação das massas da prensa 1.....	53
Tabela 21. Teste à normalidade - antes e depois da separação das massas da prensa 1.	53
Tabela 22. Independent Samples Test - antes e depois da separação das massas.	53
Tabela 23. Estatísticas descritivas - antes e depois da 1ª alteração de parâmetros.	54
Tabela 24. Teste à normalidade - antes e depois da 1ª alteração de parâmetros.	55
Tabela 25. Independent Samples Test - antes e depois da 1ª alteração de parâmetros.....	55
Tabela 26. Estatísticas descritivas - comparação entre a 1ª e a 2ª alteração de parâmetros.	56
Tabela 27. Teste à normalidade - comparação entre a 1ª e a 2ª alteração de parâmetros.....	56
Tabela 28. Independent Samples Test - 1ª e 2ª alteração de parâmetros.	57
Tabela 29. Estatísticas descritivas - provetes e peças intercaladas da referência 092.	58
Tabela 30. Teste à normalidade - provetes e peças intercaladas da referência 092.	58
Tabela 31. Independent Samples Test - provetes e peças intercaladas da referência 092.....	58
Tabela 32. Estatísticas descritivas - amostra inicial e após a rectificação do porta-eléctrodos.	59
Tabela 33. Teste à normalidade - amostra inicial e após a rectificação do porta-eléctrodos.....	59
Tabela 34. Independent Samples Test - amostra inicial e após rectificação porta-eléctrodos.	60
Tabela 35. Estatísticas descritivas - máquina manual e máquina automática.	61
Tabela 36. Teste à normalidade - máquina manual e máquina automática.	61

Tabela 37. Independent Samples Test - máquina manual e máquina automática.....	62
Tabela 38. Estatísticas descritivas - máquina do laboratório e máquina automática.	63
Tabela 39. Variação entre as médias obtidas na máquina do laboratório e a automática.	63
Tabela 40. Teste à normalidade - máquina do laboratório e máquina automática.....	64
Tabela 41. Independent Samples Test - máquina do laboratório e máquina automática.	64
Tabela 42. Guia das causas, das acções, dos testes aplicados e da avaliação da eficácia das acções correctivas implementadas.	65
Tabela 43. Índice C_{pk} referência 092 - máquina manual antes das acções correctivas.	68
Tabela 44. Índice C_{pk} referência 268 - máquina manual antes das acções correctivas.	69
Tabela 45. Índice C_{pk} - máquina manual depois das acções correctivas.	69
Tabela 46. Cálculo do Índice C_{pk} - máquina automática.....	71
Tabela 47. Estatísticas descritivas - influência do factor espessura da chapa.....	72
Tabela 48. Teste à normalidade - factor espessura da chapa.....	72
Tabela 49. Independent Samples Test - factor espessura da chapa.	72
Tabela 50. Estatísticas descritivas - factor localização das porcas.	73
Tabela 51. Estatísticas descritivas - factor localização das porcas.	74
Tabela 52. Teste à normalidade - factor localização das porcas.....	74
Tabela 53. Teste à homogeneidade de variâncias - factor localização das porcas.	74
Tabela 54. Anova a um factor- factor localização das porcas.	74
Tabela 55. Coeficientes de Correlação Pearson.	75

Capítulo 1. Introdução

A indústria automóvel é actualmente uma indústria altamente competitiva e globalizada, com características oligopolistas, mas sujeita a especificidades de carácter regional, onde imperam fortes movimentos de fusões e aquisições, o que tem induzido a mudanças estratégicas de fundo quer ao nível dos construtores de veículos quer na respectiva estrutura de fornecedores (Santos, 2006).

Em 1900, havia nos Estados Unidos cerca de 8 000 carros, actualmente, os Estados Unidos produzem anualmente cerca de 17 milhões de automóveis e actualmente existem na Terra aproximadamente 550 milhões de automóveis, número suficiente para formar uma fila 40 vezes a volta ao mundo, ou seja, após cem anos continuam a perturbar a população em função da poluição e dos acidentes. O automóvel, nestes últimos cinquenta anos, tem sido um bem significativo e de importância vital para a grande parte da humanidade. A partir da década de 80, tem-se notado um aumento significativo na robotização das montadoras de automóveis, sendo praticamente aceitável, em todos os níveis que, em ambientes de alta tecnologia, os trabalhadores com funções repetitivas, tendem a ser substituídos por máquinas e robôs. A concepção, a construção e a venda de um automóvel ao consumidor final, quando bem estudado, é um projecto arrojado, em que devem participar e cooperar, durante três a dez anos, milhares de pessoas, onde são executadas milhões de ordens de serviço e tomadas decisões importantes, muitas vezes irreversíveis. Os projectos dos carros da actualidade são baseados na segurança, em visões simples e compactas (Santos, 2006).

Hoje em dia, a fim de garantir a qualidade que o mercado automóvel exige, são feitos numerosos testes, são cumpridas as especificações de uma forma sistemática e os processos são melhorados de uma forma contínua.

A pesquisa e o desenvolvimento tecnológico foram impelidos no sentido de atingir a qualidade, o conforto e a segurança ditados pelas normas técnicas e sociais vigentes. A preocupação com a durabilidade, a aparência e a vida útil do automóvel tem sido uma constante no ramo (Santos, 2006).

Consequentemente, a qualidade da soldadura, em particular da soldadura por resistência, é fundamental sob o ponto de vista de uma avaliação crítica.

1.1 Âmbito do projecto

Este projecto foi desenvolvido no âmbito do protocolo entre a Gestamp Aveiro, indústria de componentes para automóveis, e a Universidade de Aveiro. O projecto insere-se no âmbito da Qualidade da soldadura por resistência variante projecção, também designada por soldadura por bossas, tendo sido realizado no Departamento de Produção da Gestamp Aveiro.

Actualmente na Gestamp Aveiro são utilizados dois testes para verificação da qualidade da soldadura por projecção: arrancamento de elementos soldados, porcas ou parafusos, com a utilização do martelo, e o arrancamento de elementos soldados com a utilização da prensa hidráulica de 30 toneladas. O primeiro teste permite uma avaliação da qualidade da soldadura por atributos (OK ou NOT OK). A soldadura está conforme, quando após o arranque do elemento soldado se verifica rompimento do material de base. O segundo teste permite, para além de uma avaliação da qualidade da soldadura por atributos (OK ou NOT OK), uma avaliação da qualidade da soldadura por variável. A qualidade de cada soldadura é verificada por um ensaio de arrancamento, com utilização da prensa hidráulica, no qual é registada a força de cedência, em kN, da união dos elementos soldados. O último teste citado será alvo de estudo neste trabalho.

O estudo pretende ser um contributo para a produção com custos cada vez menores, para a eficácia dos processos, representando uma verdadeira redução de custo na fonte, ou seja, antes da entrega do produto ao cliente.

1.2 Objectivos do projecto

Os principais objectivos deste projecto são: elaborar um formulário de recolha de dados, folha em Excel, para a recolha e registo dos dados dos ensaios de arrancamento; estudar o ensaio de arrancamento com utilização da prensa hidráulica; estudar o processo de soldadura por projecção, retirar conclusões sobre as principais causas de soldadura deficiente e propor acções de melhoria com vista a redução da variabilidade e consequente aumento da capacidade do processo.

Para atingir os objectivos citados realizou-se um estudo estatístico dos resultados obtidos nos ensaios de arrancamento. Destacam-se, seguidamente, as principais análises efectuadas:

- Análise da variabilidade dos processos;
- Comparação dos resultados de ensaios de arrancamento realizados em prensas de ensaio diferentes;
- Análise da capacidade dos processos;
- Análise da influência da espessura da chapa, utilizando o mesmo componente soldado, na força de arrancamento;
- Análise da influência do factor localização do componente a soldar na força de arrancamento;
- Estudo do tempo de vida dos eléctrodos tendo como base peças críticas;
- Análise da influência do número de soldaduras dos eléctrodos na força de arrancamento.

Algumas hipóteses de trabalho futuro são igualmente perspectivadas a partir de problemas empíricos detectados.

1.3 Estrutura do relatório

O presente trabalho encontra-se estruturado em 5 capítulos, sendo de seguida apresentada uma breve introdução de cada um deles.

O capítulo 1 contempla a introdução do tema do projecto, procurando enquadrar a problemática no actual contexto mundial, e os objectivos do projecto. Este capítulo inclui também a estrutura do mesmo.

No capítulo 2 é apresentado o trabalho de pesquisa bibliográfica sobre os vários tipos de soldadura salientando-se a soldadura por projecção, visto ser objecto de estudo deste trabalho.

O capítulo 3 visa a definição do conceito de qualidade e a sua evolução no âmbito industrial. Neste capítulo são referenciados vários autores que marcaram, desde a revolução industrial, o estudo e o conhecimento no controlo de qualidade de vanguarda a nível mundial. É introduzido o conceito de Gestão pela Qualidade Total (TQM), em que consiste e quais as metas da sua utilização. São também descritas as técnicas utilizadas no âmbito da Gestão da Qualidade aplicadas neste trabalho.

O capítulo 4 é essencialmente dedicado ao desenvolvimento do projecto. No início desta secção é efectuada a apresentação da empresa que é alvo do estudo, uma breve evolução histórica da empresa e descrição do processo produtivo. De seguida é efectuada uma pequena introdução ao projecto, à metodologia utilizada e são descritos os estudos efectuados. Neste capítulo são ainda analisados e interpretados os resultados obtidos nos diferentes estudos.

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões gerais do trabalho, são descritas as limitações desta pesquisa, bem como perspectivas de trabalho futuro.

Capítulo 2. Processos de Soldadura

2.1 Definição de soldadura

A soldadura constitui um dos processos de fabricação mecânica mais utilizado em todo o mundo.

A soldadura é definida pela Associação Americana de Soldadura (American Welding Society – AWS) como um processo de união de materiais usado para obter a coalescência (união) localizada de metais e não-metais, produzida por aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem utilização de pressão e/ou material de adição (Jeffus, 2003).

2.2 Breve história da soldadura

Embora a soldadura, na sua forma actual, seja um processo recente, com cerca de 100 anos, a brasagem, processo que permite unir peças metálicas com o auxílio de um metal de adição (solda), em estado líquido, com um ponto de fusão inferior ao das peças a soldar (Dias, 2005) e a soldadura por forjamento têm sido utilizadas desde épocas remotas. Existe, por exemplo, no Museu do *Louvre*, um pingente de ouro com indicações de ter sido soldado e que foi fabricado na Pérsia, por volta de 4000 a.C. (Marques, Modenesi e Bracarense, 2007).

A soldadura foi usada, na antiguidade e na idade média, para a fabricação de armas e outros instrumentos cortantes. As ferramentas eram fabricadas com ferro e com tiras de aço soldadas nos locais de corte e endurecidas por têmpera. Espadas de elevada resistência mecânica foram fabricadas no médio oriente utilizando-se um processo semelhante, no qual tiras alternadas de aço e ferro eram soldadas entre si e deformadas por compressão e torção. O resultado era uma lâmina com uma fina alternância de regiões de alto e baixo teor de carbono, aço e ferro respectivamente. Assim, a soldadura foi, durante este período, um processo importante na tecnologia metalúrgica, (Marques *et al.*, 2007).

Esta importância começou a diminuir, nos séculos XII e XIII, com o desenvolvimento da tecnologia para a obtenção, no estado líquido, de grandes quantidades de ferro fundido com a utilização da energia gerada em rodas de água e, nos séculos XIV e XV, com o desenvolvimento do alto-forno. A soldadura permaneceu como um processo secundário de fabricação até o século XIX, quando a sua tecnologia começou a mudar radicalmente, principalmente, a partir das experiências de Sir Humphrey Davy (1801-1806) com o arco eléctrico, da descoberta do acetileno por Edmund Davy e do desenvolvimento de fontes produtoras de energia eléctrica que possibilitaram o aparecimento dos processos de soldadura por fusão. Ao mesmo tempo, o início da fabricação e utilização de aço na forma de chapas tornou necessário o desenvolvimento de novos processos de união para a fabricação de equipamentos e estruturas (Marques *et al.*, 2007).

O primeiro processo de soldadura por fusão, com aplicação prática, foi patenteado em 1885 nos Estados Unidos da América, em nome de Bernardos e Olszewski, e utilizava o calor gerado por um arco estabelecido entre um eléctrodo de carvão e a peça. O calor do arco fundia o metal no

local da junta e quando o arco era retirado o calor fluía para as zonas adjacentes provocando a solidificação do banho de fusão e consequentemente a união das peças (Santos e Quintino, 1998).

Por volta de 1890, Slavianoff, na Rússia, e Charles Coffin, nos Estados Unidos, desenvolveram independentemente a soldadura a arco com eléctrodo metálico nu. Até ao final do século XIX, os processos de soldadura por resistência, por aluminotermia e a gás foram desenvolvidos. Em 1907, Oscar Kjellberg (Suécia) patenteia o processo de soldadura a arco com eléctrodo revestido. Este revestimento era constituído por uma camada de cal, cuja função era unicamente estabilizar o arco. Desenvolvimentos posteriores tornaram este processo o mais utilizado no mundo. Nesta nova fase, a soldadura teve inicialmente pouca utilização, estando restrita principalmente à execução de reparos de emergência até à eclosão da primeira grande guerra, quando a soldadura passou a ser utilizada mais intensamente como um processo de fabricação (Marques *et al.*, 2007).

Actualmente, mais de 50 diferentes processos de soldadura têm alguma utilização industrial e a soldadura é o mais importante método para a união permanente de metais. Esta importância é ainda mais evidenciada pela presença de processos de soldadura e afins nas mais diferentes actividades industriais e pela influência que a necessidade de uma boa soldabilidade tem no desenvolvimento de novos tipos de aços e outras ligas metálicas (Marques *et al.*, 2007).

2.3 Processos de soldadura

Os processos de soldadura englobam-se nos vários métodos de ligação de materiais existentes, sendo que o seu objectivo é o de ligar fisicamente dois, ou mais, componentes. Existem basicamente dois grandes tipos de processos de soldadura, os processos de soldadura por fusão, e os processos de soldadura no estado sólido.

Os primeiros processos a serem desenvolvidos foram os de soldadura por fusão, o metal que é fundido pode provir unicamente das peças a soldar quando estas são de pequena espessura, ou pode incluir material proveniente de um fio-eléctrodo, quando se soldam chapas espessas com os bordos preparados. Em todos estes casos parte da peça é o metal que funde, é devido a este facto que se dá o nome de “soldadura por fusão” a este processo. O primeiro processo de soldadura patenteado, um *Processo de Soldadura por Fusão*, utilizava um eléctrodo de carvão para criar um arco eléctrico entre si e o material a soldar. Mais tarde, surgiram Eléctrodos Revestidos, estes ao serem derretidos pelas altas temperaturas protegiam o arco eléctrico da atmosfera, estabilizando-o, o que permitia obter soldaduras de melhor qualidade (Santos e Quintino, 1998).

No entanto, por volta dos anos trinta, outro tipo de protecção foi idealizada, a protecção gasosa. Esta utiliza um gás inerte, como o argón ou o hélio, o qual era utilizado para impedir o contacto da atmosfera com o eléctrodo e com o banho de fusão, evitando assim a contaminação destes. O primeiro processo, a utilizar este tipo de protecção foi o TIG (Tungsten Inert Gas) o qual utilizava

um eléctrodo não consumível de tungsténio, sendo seguido pelo MIG (Metal Inert Gas) processo que utilizava já um eléctrodo consumível, o que permitia obter maiores velocidades de enchimentos de chanfros, pois podia ser facilmente automatizado. Os desenvolvimentos continuaram e estes dois gases inertes foram substituídos pelo dióxido de carbono. Gás mais corrente, viria permitir baixar os custos da soldadura se não tivessem ocorrido de imediato dois problemas, em primeiro lugar, o metal transferido do eléctrodo para o metal base era depositado de uma forma muito irregular, e em segundo o cordão de soldadura apresentava muita porosidade (Santos e Quintino, 1998).

No entanto com o decorrer dos anos estes problemas foram resolvidos com a introdução de equipamentos capazes de gerar correntes eléctricas de baixa intensidade, e com a adição aos eléctrodos de elementos como o silício, manganês, alumínio, titânio e zircónio. Estes viriam reduzir a porosidade obtida, mas não permitiam obter ainda a qualidade dos processos de soldadura que utilizavam fluxos de protecção. Para colmatar esta deficiência foram introduzidos eléctrodos ocos, nos quais se podiam introduzir os mais diversos fluxos, nascendo assim um novo processo denominado de fios fluxados, processo de arco eléctrico, onde a fusão dos materiais de base e de adição é obtida através do aquecimento até à temperatura de fusão do consumível e do material de base (Santos e Quintino, 1998).

A soldadura no estado sólido inclui os processos que empregam pressão e em que os dois lados da junta são levados a contacto, a nível atómico, o qual é conseguido através de deformação, difusão atómica ou uma combinação de ambos os mecanismos. Muitos outros processos foram desenvolvidos, incluindo processos que vão buscar a sua fonte de calor a reacções químicas, ou a emissão de radiações electromagnéticas, processos extremamente avançados que permitem obter soldaduras de alta qualidade (Santos e Quintino, 1998).

Os estudos apresentados neste trabalho vão incidir sobre a soldadura por resistência, que se insere na soldadura por fusão.

2.4 Soldadura por resistência

A soldadura tem grande importância na fabricação de variados componentes e máquinas industriais. De entre os processos a soldadura por resistência é uma das mais utilizadas podendo ser aplicada a produções em série e em diversos tipos de indústrias: automóvel, electrónicas, nucleares entre outras (Paes, Guimarães e Rebello, 1989). A aceitação deste processo deve-se em grande parte à facilidade de operação, de automação, de rapidez do processo, podendo ser utilizado em grandes linhas de produção. No entanto, o total controlo deste processo é muito difícil já que envolve factores mecânicos, eléctricos, térmicos e metalúrgicos exigindo estudos para a adaptabilidade do processo (Darwish e Al-Dekhial, 1999).

A soldadura por resistência é chamada assim porque utiliza a resistência dos próprios materiais à passagem da corrente eléctrica para gerar o calor necessário (Abad e Bisbe, 2002). Durante o

processo, as peças aquecem e ocorre a fusão localizada no ponto de contacto na superfície de separação entre ambas (Santos e Quintino, 1998). É uma soldadura autogénea (Abad e Bisbe, 2002), pelo facto de ser um método de ligação de duas peças metálicas, através da fusão conjunta dos respectivos bordos, sem adição de outros metais (Dias, 2005). Existem diversos processos de soldadura por resistência, tais como:

- soldadura por pontos (Resistance Spot Welding – RSW);
- soldadura por projecção ou por bossas (Projection Welding – RPW);
- soldadura por costura (Resistance Seam Welding – RSEW);
- soldadura topo a topo: por resistência (Upset Welding);
- soldadura por centelhamento (Flash Welding – FW);
- Soldadura por resistência por alta frequência (High Frequency Resistance Welding – HFRW).

Estes processos estão representados na figura 1, (a) soldadura por pontos, (b) costura, (c) projecção, (d) topo a topo por resistência, (e) topo a topo por centelhamento e (f) alta frequência.

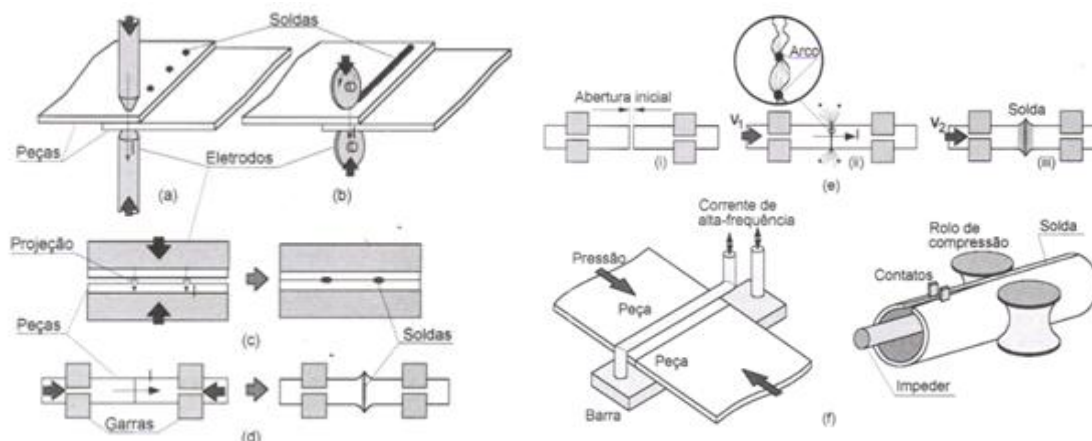


Figura 1. Processos de soldadura por resistência.

Fonte: (Marques *et al.*, 2007)

Na soldadura por pontos, as peças são soldadas entre elas, através de porções limitadas das suas respectivas superfícies, isto é, apenas por pontos de soldadura (Santos e Quintino, 1998).

A soldadura por projecção não é tanto utilizada como a soldadura por pontos. O processo é semelhante ao anterior, sendo que a soldadura entre peças, em que pelo menos uma, possui pequenas saliências (bossas), permitem realizar, utilizando apenas um par de eléctrodos, um número de pontos de soldadura igual ao número de bossas existentes (Santos e Quintino, 1998).

Na soldadura por costura é efectuada uma série de pontos de soldadura consecutivos, de modo a produzir uma solda contínua, por sobreposição parcial dos diversos pontos. Normalmente, um ou ambos os eléctrodos são discos ou rodas, que giram enquanto as peças a serem unidas passam entre eles (Marques *et al.*, 2007).

Na soldadura topo a topo por resistência, a corrente eléctrica passa através das faces das peças, que são pressionadas frente a frente. As peças são pressionadas uma contra a outra, por meio de

um dispositivo de compressão sendo em seguida submetidas à passagem de uma corrente de soldadura adequada (Marques *et al.*, 2007).

Na soldadura topo a topo por centelhamento, ao contrário da soldadura topo a topo por resistência, em geral não é necessária nenhuma preparação das superfícies de contacto. Neste processo as peças são energizadas antes de entrarem em contacto, e as suas faces são aproximadas até que o contacto ocorra em pontos discretos da superfície da junta, gerando o centelhamento (Marques *et al.*, 2007).

Na soldadura por alta frequência, a soldadura é obtida pelo calor gerado pela resistência à passagem de uma corrente eléctrica alternada de alta frequência e pela aplicação rápida da pressão (Marques *et al.*, 2007).

2.5 Fundamentos do processo de soldadura por projecção

Todos os processos de soldadura por resistência requerem uma combinação bem determinada da pressão, nomeadamente da sua amplitude e duração bem como da corrente eléctrica, isto é, da sua intensidade e tempo de passagem. A corrente eléctrica deve passar do eléctrodo à peça bem como passar através desta última. A continuidade do meio é garantida pela pressão exercida, pelo que esta deverá ser suficientemente elevada para garantir um encosto perfeito entre as peças a soldar e entre estas e os eléctrodos (Santos e Quintino, 1998).

O calor necessário para se processar a soldadura de dois componentes é gerado por efeito de Joule, de acordo com a “Lei de Joule”: $Q = R \times I^2 \times t$ (equação1), onde, Q é o calor gerado (em Joules), R é a resistência eléctrica (em Ohms), I é a intensidade da corrente eléctrica (em Amperes) e t é o tempo de passagem da corrente (em segundos) (Marques *et al.*, 2007).

A corrente de soldadura será a mesma em todas as partes do circuito independentemente da resistência instantânea em qualquer local do circuito, mas o calor gerado será directamente proporcional à resistência naquele ponto. O calor gerado na superfície de contacto das peças é maior do que em qualquer outro ponto localizado no circuito secundário e, durante a primeira parte do intervalo de tempo de soldadura, ele é responsável pela geração de calor na região de soldadura. O calor gerado no restante do circuito secundário é perdido e dissipado por radiação, convecção ou condução, sendo auxiliados pela refrigeração da água, que previne a fusão na interface eléctrodo/chapa (American Welding Society, 1997).

Nos processos de soldadura por resistência, cria-se artificialmente um ponto ou zona de resistência elevada, de modo a concentrar o calor desenvolvido nessa área. O modo como se produz aquela resistência caracteriza as diferentes variantes dos processos de soldadura por resistência. A corrente eléctrica necessária para produzir o calor é introduzida na peça através de condutores apropriados, os quais devem contactar as peças a ligar. Este contacto físico tem a finalidade de proporcionar uma passagem de corrente confinada. A resistência R está em geral dependente da resistência das peças a ligar e da geometria do condutor. Para executar a

operação de soldadura, é ainda necessário, aplicar pressão para manter em posição e consolidar a junta (Pereira, 2006). A figura 2 representa um esquema de uma máquina de soldadura por resistência, (em que P - representa a pressão; T - corresponde ao transformador de soldadura; E - corresponde aos eléctrodos; e Tp - é o temporizador). Verifica-se que é o secundário do transformador que se encontra ligado aos eléctrodos, sendo ainda estes que exercem a pressão, sobre a peça, a qual é obtida a partir de um dispositivo hidráulico (Jeffus, 2003).

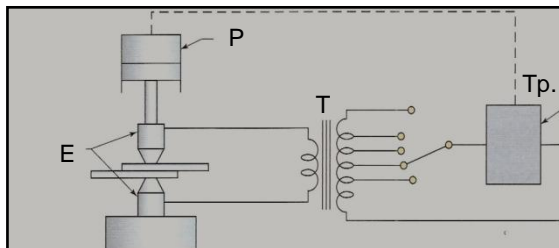


Figura 2. Máquina de soldadura por resistência.

Fonte: (Jeffus, 2003)

A corrente eléctrica circula desde um eléctrodo ao outro atravessando as lâminas a serem soldadas e no seu caminho encontra diferentes resistências (figura 3), as quais dissipam energia que se converte em calor. O calor produzido é directamente proporcional ao valor da resistência e aumenta com o quadrado dos valores da intensidade, ou seja, com o dobro da resistência, dobro do calor e com o dobro da intensidade, quatro vezes mais calor. Este cálculo é a aplicação da Lei de Joule (equação 1). Ao iniciar-se o processo de soldadura a corrente eléctrica passa através de cinco diferentes resistências geradoras de calor (Abad e Bisbe, 2002).

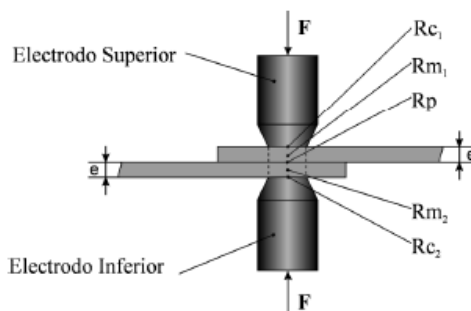


Figura 3. Resistências eléctricas encontradas pela corrente na soldadura por resistência.

Fonte: (Abad e Bisbe, 2002)

R_p é a resistência de contacto entre as peças a soldar e onde se deveria depositar toda a energia, o calor, durante o processo. R_{m1} e R_{m2} são as resistências próprias do material a soldar e não se pode actuar sobre elas. Em frio, ao início da soldadura, estas resistências têm um valor pequeno que se multiplica por aproximadamente 10, ao aumentar a temperatura gerando um calor inevitável e necessário que, pouco depois de se iniciar o processo será o principal componente do calor total aplicado à soldadura. R_{c1} e R_{c2} são as resistências de contacto do eléctrodo com a peça. A energia, o calor, que se deposita nessas zonas devido a essas resistências é a principal causa de problemas. Reduzir estas resistências é primordial para alargar a vida dos eléctrodos e

reduzir as “pegadas” na superfície das peças. O esforço aplicado à soldadura reduz o seu valor em maior proporção do que a da R_p (Abad e Bisbe, 2002).

Assim, o calor gerado pela passagem da corrente é proporcional ao valor da intensidade da corrente, segundo a lei de joule (equação 1) em que $R = R_{c1} + R_{m1} + R_p + R_{m2} + R_{c2}$ o calor produzido por R_{c1} e R_{c2} é desprezável para o processo de fusão, já que este é dissipado através dos eléctrodos, normalmente arrefecidos e constituídos por um material de elevada condutividade eléctrica. As resistências R_{m1} e R_{m2} são proporcionais à resistência das chapas a soldar, sendo contudo normalmente inferiores à chamada “resistência útil”, ou seja a resistência R_p , a qual é, por seu lado, muito superior a todas as outras (Santos e Quintino, 1998).

De todas as resistências, a R_p é a mais importante porque é nesse local que se formará o ponto e, consequentemente, a geração de calor para ocorrer a fusão localizada. As resistências de contacto têm um papel muito mais importante na geração de calor, durante o processo de soldadura por resistência, do que as resistências das peças a serem soldadas, para ocorrer a fusão localizada (Wainer, Brandi, e Mello, 2004).

O calor produzido na zona de contacto entre os materiais a soldar propaga-se no metal, produzindo fusão, bem como ao seu redor o material, a temperatura elevada, encontra-se num estado pastoso. É por esta razão que muitas vezes, se apelida o processo de soldadura por resistência de “processo do cadinho plástico”, já que se forma um verdadeiro cadinho de material no estado de deformação plástica, que contém o metal em fusão (ver figura 4). A deformação plástica resulta, por um lado do aumento de volume da zona em fusão, e por outro lado, do abaixamento da tensão de cedência da zona deformada, resultando do aumento de temperatura a que está submetida (Santos e Quintino, 1998).

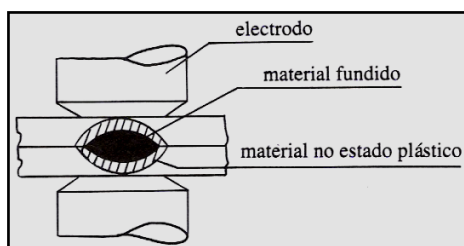


Figura 4. Formação do ponto de soldadura.

Fonte: (Santos e Quintino, 1998)

Quando se corta a corrente começa o arrefecimento, fazendo-se o escoamento do calor para o exterior. Logo que o metal fundido solidifica, a contracção que lhe está associada produz um ligeiro abatimento na superfície das chapas, o qual é apenas visível se as chapas têm, pelos menos, 3 ou 4 mm de espessura. De realçar que este “abatimento” não se deverá confundir com as cavidades que se verificam nos pontos “queimados”, isto é, soldaduras em que a fusão originada é demasiada, chegando a atingir a superfície externa do material. A ordem de grandeza do abatimento referido ronda os 0,5mm e normalmente é considerado como defeito de soldadura (Santos e Quintino, 1998).

2.6 Parâmetros de soldadura por resistência

Conseguir uma soldadura de qualidade começa com um bom processo de design que minimize as variáveis encontradas na soldadura (Aslanlar, 2006). A soldadura por resistência consiste em fazer passar uma corrente eléctrica de grande intensidade através das peças a soldar, durante um determinado tempo e apertadas por uma determinada força. Trata-se de um processo de soldadura por fusão, em que a geração de calor é comandada pelo efeito de Joule. Verifica-se pela sua equação 1 que a quantidade de calor produzida (Q) depende de três parâmetros, os quais são simultaneamente os parâmetros principais do processo. Estes parâmetros são os seguintes: resistência eléctrica, intensidade da corrente e o tempo de passagem da corrente eléctrica (Santos e Quintino, 1998).

2.6.1 Resistência

A resistência varia com inúmeros factores nomeadamente: a resistividade dos materiais, o estado da superfície dos materiais a soldar, a natureza e forma dos eléctrodos e a força de aperto dos eléctrodos. A resistência diminui quando a força de aperto dos materiais a soldar aumenta (ver figura 5), pelo que em termos práticos se substitui o parâmetro resistência pelo parâmetro “força exercida pelo eléctrodo” ou “força de aperto” (Santos e Quintino, 1998).



Figura 5. Variação da resistência à passagem da corrente em função da força de aperto.

Fonte: (Santos e Quintino, 1998)

2.6.2 Força exercida pelo eléctrodo ou força de aperto

O objectivo da força de eléctrodo é comprimir as chapas metálicas para serem unidas. Isto exige uma força de eléctrodo grande, porque caso contrário, a qualidade da junta soldada não irá ser suficientemente boa. No entanto, quando a força de eléctrodo aumenta, a energia térmica diminui. Isto significa que a força de eléctrodo alta exige uma maior intensidade de corrente. Quando a corrente de soldadura se torna demasiado elevada, salpicos irão ocorrer entre os eléctrodos e folhas, levando os eléctrodos a ficar presos à folha (Santos e Quintino, 1998).

2.6.3 Intensidade da corrente

Na equação 1, a corrente de soldadura tem um efeito muito maior na geração de calor do que a resistência ou o tempo, devido à sua influência quadrática. Sendo assim, é uma importante variável a ser controlada. A corrente de soldadura atravessa as peças a soldar, percorrendo o

percurso do circuito formado pelo secundário do transformador, os condutores, os eléctrodos e as peças a soldar. Em soldadura por resistência é por vezes difícil conhecer com exactidão a corrente de soldadura, não podendo os equipamentos ser regulados directamente como fontes de corrente utilizadas em soldadura eléctrica por arco. Nas máquinas de soldadura por resistência não se pode deitar fora a energia reactiva de forma a não diminuir exageradamente o rendimento, o qual é já demasiadamente baixo. Procura-se sempre construir transformadores que tenham uma baixa impedância interna, não havendo nunca naturalmente um *shunt* magnético entre o primário e o secundário (Santos e Quintino, 1998).

A expulsão é um importante fenómeno que pode ser observado frequentemente durante o processo de soldadura por resistência. É uma projecção de metal fundido durante a formação do ponto de soldadura, ela envolve perda de metal, o qual frequentemente resulta em redução das forças de soldadura. A probabilidade de expulsão de material não é somente função da corrente de soldadura, mas também do tempo e pressão. Uma prática comum, para determinar as tabelas de soldadura, é encontrar o limite da corrente de expulsão de material, fixando os valores de pressão e tempo de soldadura. Os níveis de corrente de expulsão são definidos com os níveis de corrente identificados através de procedimentos de ajuste de correntes e estabilidade de níveis de corrente de expulsão (Branco, 2004).

2.6.4 Tempo de soldadura

Consoante o tipo de equipamento utilizado, o tempo de passagem da corrente pode ser regulado pelo operador ou por um temporizador automático incorporado no equipamento. Em determinados equipamentos, as quedas de tensão podem também ser compensadas por variações do tempo de soldadura, dentro de determinados limites. O tempo de passagem da corrente depende, naturalmente de vários factores, nomeadamente do tipo de materiais a soldar, da sua espessura, acabamento de superfície e força de aperto (Santos e Quintino, 1998).

2.6.5 Outros factores que afectam a soldadura

A resistividade eléctrica de um metal influencia directamente no aquecimento por resistência durante a soldadura. Em metais de alta condutibilidade térmica tais como cobre, pouco calor é desenvolvido mesmo sob altas densidades de corrente. A pequena quantidade de calor gerado é rapidamente transmitida para dentro do material circundante e para os eléctrodos. A composição de um metal determina o seu calor específico, a temperatura de fusão, o calor latente de fusão e a condutibilidade térmica. Estas propriedades governam a quantidade de calor requerida para fundir o metal e produzir uma soldadura. Técnicas de soldadura têm sido utilizadas com sucesso na soldadura de aço revestido com zinco. O principal problema apresentado aquando da tentativa de soldar aço galvanizado está no ponto de fusão dos dois metais, zinco e aço, que são significativamente diferentes. Além disso, o ponto de ebulição do zinco é menor que o ponto de

fusão do aço. Ao soldar aço galvanizado, a temperatura do zinco será elevada acima do seu ponto de ebulição, facto que promoverá a sua evaporação (Branco, 2004).

No caso específico de chapas galvanizadas, uma remoção do revestimento de zinco poderá ocorrer como consequência da temperatura atingida na interface eléctrodo/chapa, sendo ainda favorecida pela força dos eléctrodos na superfície da chapa. A soldabilidade das chapas galvanizadas é conhecida como sendo inferior às das chapas de aço sem revestimento, devido à reacção entre o cobre do eléctrodo e o zinco do revestimento. Isto resulta num consumo excessivo do eléctrodo e, consequentemente, numa diminuição da sua vida útil (Branco, 2004).

2.7 Eléctrodos

Os eléctrodos são elementos condutores de electricidade, sendo fabricados de ligas de cobre. Eles desempenham um papel vital na geração de calor, porque conduzem a corrente de soldadura até o material, transferem a pressão necessária para unir as chapas e auxiliam na refrigeração da região de soldadura. Os eléctrodos devem ter boa condutibilidade eléctrica, mas devem também ter resistência mecânica e dureza adequada para resistir à deformação causada por aplicações repetidas e altas solicitações térmicas (Branco, 2004).

Se os eléctrodos permanecerem em contacto com o material após a corrente de soldadura ter cessado, eles rapidamente arrefecem o ponto de soldadura. Se os eléctrodos forem removidos da soldadura rapidamente após a corrente de soldadura ter cessado, problemas podem aparecer. Com chapas finas, este procedimento pode causar empenamento da região de soldadura. Com chapas espessas, o tempo deve ser suficiente para arrefecer e solidificar o ponto de soldadura enquanto sob pressão. (Branco, 2004).

2.7.1 Desgaste dos eléctrodos

O processo de soldadura por resistência envolve complicadas interacções entre as propriedades físicas e metalúrgicas da chapa metálica, revestimento da chapa, materiais do eléctrodo e os parâmetros de soldadura. Devido a essas interacções, ou seja, exposição do eléctrodo a altas temperaturas, altas pressões, faz com que o eléctrodo sofra alterações nas suas características originais. A estas mudanças nas características originais do eléctrodo chama-se de desgaste do eléctrodo. Um outro problema inerente à soldadura de aços galvanizados com eléctrodos de cobre é que, após a soldadura de n pontos de soldadura, ocorre a formação de uma camada de difusão (camada de latão) na face dos eléctrodos (Branco, 2004).

A troca de eléctrodos é a prática menos utilizada para minimizar o problema do desgaste. Devido ao facto, de o eléctrodo influenciar directamente no custo de produção e produtividade da linha de soldadura. Quando se realiza a troca dos eléctrodos, é necessário que a linha de produção seja parada e, em alguns casos, os eléctrodos não foram utilizados até seu limite (Branco, 2004).

Capítulo 3. Qualidade na Indústria

3.1 Evolução histórica da Qualidade

A história da Qualidade começou mesmo antes de o homem inventar o dinheiro. Com a necessidade de se alimentar, o próprio processo selectivo de escolha dos alimentos já demonstrava a utilização de diferentes formas de controlar a qualidade do alimento que seria ingerido.

Hoje, a Qualidade engloba todo o processo de fabrico de um produto, desde a matéria-prima utilizada, até ao atendimento pós-venda ao cliente.

Os consumidores sempre tiveram o cuidado de inspecionar os bens e serviços que recebiam numa relação de troca. Essa preocupação caracterizou a chamada *era da inspecção*, que se voltava para o produto acabado, não produzindo assim qualidade, os produtos defeituosos eram encontrados na razão directa da intensidade da inspecção.

Desde sempre se associou o ideal de qualidade a algo que cumpre a sua função, cumprindo os requisitos a que se propõe. Pode-se considerar esta a mais antiga definição de qualidade. A qualidade consiste no que o produto oferece e que vai de encontro às necessidades do consumidor, e dessa forma proporciona a sua satisfação (Juran e Gryna, 1988).

A Qualidade está intimamente ligada à revolução industrial, altura em que se deu uma mudança da produção artesanal, onde todas as operações relativas a um produto eram feitas pelo mesmo operador, para a produção industrial, onde as tarefas são divididas por vários trabalhadores que se especializam na sua função, aumentando a rentabilidade do processo. Apesar de melhorias evidentes, nesta época havia uma grande limitação de conhecimento a nível de controlo estatístico de processo. Este factor obrigava a um controlo a 100% dos processos (Juran e Gryna, 1988).

A *era do controlo estatístico* surgiu com o aparecimento da produção em massa, traduzindo-se na introdução de técnicas de amostragem e de outros procedimentos estatísticos, bem como, em termos organizacionais, no aparecimento do sector de controlo da qualidade.

Nos anos 50 desenvolveu-se a moderna concepção da Gestão pela Qualidade Total (TQM, *Total Quality Management*), através dos trabalhos de Feigenbaum, Juran e Deming. Este último defendeu os conceitos da aplicação do controlo de Qualidade em todas as áreas da empresa, como um conjunto de princípios a serem adaptados à cultura de cada organização. Para ele, o consumidor é a peça mais importante de uma linha de produção (Deming, 1922).

Esta nova filosofia TQM é baseada no desenvolvimento e na aplicação de conceitos, métodos e técnicas adequados a uma nova realidade. A qualidade deixou de ser um aspecto do produto e responsabilidade apenas de um departamento específico, e passou a ser um problema da empresa, abrangendo, como tal, todos os aspectos de sua operação.

3.2 Gestão pela Qualidade Total

Pretende-se abordar o tema da Gestão pela Qualidade Total, relativamente aos seus princípios e objectivos, não havendo o objectivo de explicar detalhadamente o funcionamento deste tipo de gestão pois esse não é o objectivo deste projecto.

Face à crescente globalização da economia, a concorrência tornou-se implacável no fim do século passado, exigindo às empresas uma capacidade permanente de adaptação, ou mesmo até de antecipação, às solicitações do meio envolvente, levando-as a procurar adquirir uma grande flexibilidade e rapidez de resposta aos diversos desafios com que se viram confrontados. Para responderem a estes desafios e alcançarem a Excelência, muitas empresas de diversos países começaram a adoptar a Gestão pela Qualidade Total como uma filosofia de gestão extensível a todos os processos da organização por forma não só a assegurar como também exceder as expectativas dos clientes, colaboradores, accionistas e sociedade em geral. Destacam-se os seguintes princípios que devem prevalecer nas organizações que decidem adoptar uma postura de Qualidade total (Pereira e Requeijo, 2008):

- Liderança e planeamento estratégico, sem o envolvimento directo e empenho total da gestão de topo não é possível fomentar uma cultura da Qualidade focalizada nos clientes internos e externos e outras partes interessadas no negócio. Uma liderança eficaz deve definir e transmitir a missão, visão e valores da organização, delinear a estratégia adequada para alcançar o que foi definido;
- Atitude de melhoria contínua em toda a cadeia de valor;
- Comunicação directa e clara entre a gestão de topo, gestão intermédia e demais colaboradores;
- Descentralização do poder e promoção do trabalho em equipas pluridisciplinares, autónomas e devidamente responsabilizadas;
- Gestão eficaz dos recursos humanos, que deve incluir formação permanente;
- Atitude de prevenção, com especial ênfase na concepção, desenvolvimento e implementação de processos robustos com o mínimo de variabilidade;
- Utilização de técnicas e metodologias adequadas para identificar e satisfazer as expectativas de todas as partes interessadas;
- Parcerias com os fornecedores, clientes e outras entidades externas à organização.

A Qualidade assume assim um carácter transversal e desencadeia uma mudança cultural no seio das organizações, a qual se tem revelado extremamente benéfica, sob todos os pontos de vistas, em diversos sectores da actividade económica (Pereira e Requeijo, 2008).

A TQM valoriza o Homem no âmbito das organizações, reconhece a sua capacidade de resolver problemas no local e no momento em que ocorrem, e procura permanentemente a perfeição. É uma nova forma de pensar, antes de agir e produzir.

Como se trata de uma mudança profunda, a implantação enfrenta várias barreiras, pois mexe com o *status quo*, com o conformismo e com os privilégios. Portanto, deve-se ver a Gestão da Qualidade não como mais um programa de modernização, mas como uma nova maneira de ver as relações entre as pessoas, na qual o benefício comum é superior ao de uma das partes.

Da Gestão da Qualidade Total depende a sobrevivência das organizações que precisam garantir aos seus clientes a total satisfação com os bens e serviços produzidos, contendo características intrínsecas de qualidade, a preços que os clientes possam pagar, e entregues dentro do prazo esperado. É fundamental atender e, preferencialmente, exceder as expectativas dos clientes. A obtenção da qualidade total parte de ouvir e entender o que o cliente realmente deseja e necessita, para que o produto ou serviço possa ser concebido, realizado e prestado com excelência.

3.3 Algumas técnicas utilizadas no âmbito da Gestão da Qualidade

Existe um conjunto elevado de técnicas aplicadas à Gestão da Qualidade, que contribuem decisivamente para a resolução estruturada dos mais variados problemas. Como têm finalidades distintas, em cada fase da resolução de um problema podem ser aplicadas várias técnicas. Quando utilizadas de forma rotineira permitem identificar oportunidades de melhoria, eliminar actividades sem valor acrescentado e reduzir a variabilidade de produtos e processos. Assim, neste estudo foram utilizadas várias técnicas para a resolução de problemas. Seguidamente são apresentadas algumas das técnicas utilizadas no capítulo 4, no estudo de caso.

3.3.1 Formulário de recolha de dados

Os formulários de recolha de dados permitem coligir fácil e rapidamente a informação considerada relevante num determinado contexto. A sua utilização permite caracterizar a ocorrência de um acontecimento e ajuda a formular uma solução baseada em factos objectivos e não em opiniões meramente subjectivas. Para serem eficazes devem ser simples, de forma a não ser necessário utilizar pessoal especializado no seu preenchimento, a sua interpretação deve ser fácil e imediata. Na elaboração e aplicação de qualquer folha de registo deve-se definir o formato da folha, conceber o formato da folha, decidir sobre o período de recolha de dados e recolher correctamente os dados (Pereira e Requeijo, 2008). Deve-se garantir que existe uma única e clara interpretação de cada parâmetro registado. É fundamental explicitar inequivocamente que o objectivo a alcançar com a recolha dos dados se situa em torno da melhoria dos processos e não na inspecção ou avaliação do desempenho dos operadores (Alvelos, 2007).

3.3.2 Brainstorming

O *Brainstorming* é um método de geração de ideias criativas, utilizado no trabalho em equipa, que é imprescindível para a aplicação adequada de qualquer das Ferramentas da Qualidade.

Compreende, geralmente, três fases: na primeira, os membros do grupo apresentam as suas ideias sobre um determinado tema; na segunda procede-se a uma revisão das ideias expostas, eliminando-se, eventualmente, algumas delas; finalmente, procede-se a uma selecção mais refinada das ideias e a um agrupamento por prioridades (Pereira e Requeijo, 2008).

Na fase em que os membros do grupo, espontaneamente, sem qualquer regra prévia, apresentam alternativas quantas puderem durante o período de tempo previsto para a sessão, nenhuma crítica é permitida, sendo todas as alternativas registadas para posterior análise e discussão. O *Brainstorming* pode ser usado em qualquer fase do processo de decisão, mas é mais eficaz quando se usa no início, logo que surge o problema.

3.3.3 Diagrama de Causa-e-Efeito

O Diagrama de Causa-e-Efeito, desenvolvido por Kaoru Ishikawa em 1943, procura relacionar graficamente as causas com os efeitos (problemas) que as mesmas produzem. A construção do Diagrama de Causa-e-Efeito passa habitualmente por:

► *Definir claramente o problema* - quanto mais generalista for o problema, mais gerais serão as causas e mais complicadas serão a análise e a resolução do problema. Assim, a equipa de trabalho deve discutir todos os contornos do problema em questão de forma a identificar claramente as suas características e a definir com exactidão um título para o problema ou efeito. Traça-se em seguida uma linha horizontal centrada e descreve-se o problema (efeito), sem qualquer ambiguidade, à direita do Diagrama (Pereira e Requeijo, 2008).

► *Identificar as causas do problema* - as causas conducentes a um determinado efeito podem ser classificadas a vários níveis cujo número vai depender do maior ou menor detalhe da análise efectuada pela equipa. As chamadas causas gerais ou principais têm uma influência directa no problema a ser resolvido. Em contextos produtivos é habitual considerarem-se seis categorias de causas gerais (os 6M) que se têm revelado adequadas à maioria dos problemas existentes: Mão-de-obra, Método, Máquinas, Materiais, Medições e Meio Ambiente. As categorias identificadas são representadas pelas setas oblíquas que convergem para o eixo horizontal do Diagrama. A equipa de trabalho procura identificar o máximo de causas possíveis (reais ou potenciais) para o problema. Uma técnica particularmente útil nesta fase é o *Brainstorming*. Em seguida, cada causa é afectada a uma das categorias previamente consideradas (Pereira e Requeijo, 2008).

Cada categoria poder ser subdividida tantas vezes quantas as necessárias para melhor agrupar e clarificar as causas do problema. Completa-se o Diagrama tendo em consideração que as causas de nível 1, que afectam directamente a respectiva causa geral, são representadas por setas horizontais ligadas às setas oblíquas das causas gerais, que as causas de nível 2 são representadas por setas oblíquas apontadas para a seta horizontal da causa de nível 1 e assim sucessivamente, (Pereira e Requeijo, 2008).

Na figura 6 está representado o aspecto geral de um Diagrama de Causa-e-Efeito.

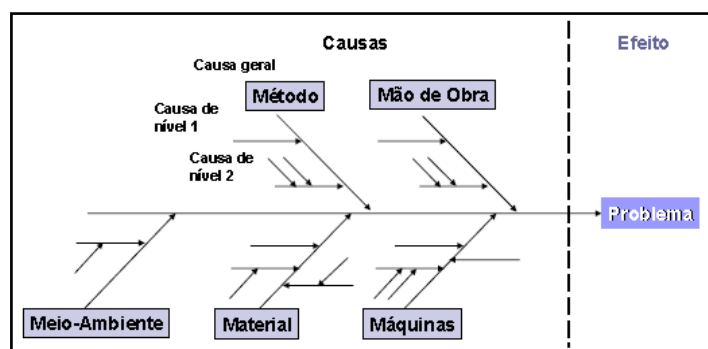


Figura 6. Diagrama de Ishikawa (Causa-e-Efeito).

Fonte: (Alvelos, 2008)

► *Seleccionar as causas mais prováveis* - uma vez concluído o Diagrama, procede-se à análise do mesmo para seleccionar as causas que terão maior probabilidade de estar na origem do problema. Consideram-se geralmente 4 a 5 causas mais prováveis, as quais devem ser assinaladas com um círculo (Pereira e Requeijo, 2008).

► *Definir e implementar acções correctivas* - definem-se as acções necessárias para eliminar as causas do problema, identificam-se os responsáveis pela respectiva implementação e estabelecem-se os prazos para a sua execução. As acções correctivas devem ser devidamente monitorizadas durante a sua implementação, efectuando-se os ajustes que se revelem necessários (Pereira e Requeijo, 2008).

► *Avaliar a eficácia das acções implementadas* - deve avaliar-se a eficácia das acções implementadas e proceder-se, por fim, à divulgação dos resultados (Pereira e Requeijo, 2008).

Neste projecto, recorreu-se ao diagrama de Causa-e-Efeito para detecção e identificação das causas que estão na origem da variabilidade da força de arrancamento. Este será apresentado no capítulo 4.

3.3.4 Fluxograma

Os fluxogramas destinam-se a ilustrar as várias etapas de processos industriais de fabrico, procedimentos operativos, funcionamento de sistemas, processos administrativos entre outros. Permite ilustrar de forma ordenada as diversas etapas, entrada e saídas que, de forma sequencial, vão contribuindo para a obtenção de um determinado produto, sendo este entendido como um resultado tangível ou intangível de um processo. A simbologia utilizada é de carácter universal e deve ser sempre respeitada (Pereira e Requeijo, 2008).

Os fluxogramas apresentam as seguintes vantagens: permitem clarificar, definir, estruturar e documentar processos, estimulando um trabalho de reflexão que pode conduzir à sua simplificação, optimização e redução de ciclos temporais; os colaboradores que os utilizam passam a ter um melhor conhecimento dos processos que decorrem na organização; facilitam a identificação de possíveis causas e origens para determinados problema; possibilitam a

identificação de actividades que não acrescentam valor (a um processo em particular, ou à organização em geral); incentivam o trabalho de grupo e uma vez construídos, o conjunto de tarefas que representam e a forma como são realizadas deve ser desafiado periodicamente, conduzindo à melhoria contínua do processo em causa. Na sua construção são utilizados símbolos facilmente reconhecíveis, e com significado específico, para representar as várias etapas de um processo, para ser útil o fluxograma deve contemplar caminhos alternativos, dependendo das circunstâncias ou preferências pessoais (Alvelos, 2008).

3.3.5 5S

Entre as muitas ferramentas que podem ser usadas para implementar o Sistema da Qualidade Total numa empresa é o Programa 5S. Este é o ponto de partida e um requisito básico para o controlo da qualidade, uma vez que proporciona vários benefícios ao sector. A ordem, a limpeza, o asseio e a autodisciplina são essenciais para a produtividade. Porém, este programa implementado sozinho, somente ele, não assegura o Sistema da Qualidade eficiente. É necessário haver melhorias contínuas, treinos e consciencialização do pessoal quanto à filosofia da qualidade. De acordo com experiências de empresas que já implantaram o programa, a “chave” não é somente a aplicação dos conceitos, mas a mudança cultural de todas as pessoas envolvidas e a aceitação de que cada um deles é importante para melhorar o ambiente de trabalho, a saúde física e mental dos trabalhadores e o sistema da qualidade (Araújo, 2007).

“Certa vez, perguntaram ao Dr. Kaoru Ishikawa de que forma poderiam iniciar a implementação da Qualidade Total numa fábrica e ele respondeu: “ Sugiro começar por varrer” (Gonzalez, 2002).

O 5S é uma filosofia criada em 1950, pelo Centro de Educação para a Qualidade, sobre a Liderança do Dr. Kaoru Ishikawa e foi aplicado com a finalidade de reorganizar o país após a Segunda Guerra Mundial, quando vivia a chamada crise da competitividade. Este foi um dos factores da recuperação das empresas e da implantação da Qualidade Total no país. Até hoje o 5S é considerado o principal instrumento de gestão da qualidade e da produtividade utilizado no Japão devido a sua eficácia. O 5S foi divulgado por todo mundo, sendo adoptado em inúmeras organizações, e com a prática diária dos seus princípios conseguiram criar ou desenvolver as condições básicas para o desenvolvimento de outros programas de melhoria voltados para o aumento da produtividade e da competitividade. O programa 5S enfatiza a ordem no ambiente de trabalho, favorecendo a eficiência, melhores condições de trabalho e eliminação de desperdícios. Em consequência disso, obtém-se maior segurança, qualidade e produtividade. A ferramenta 5S é uma ferramenta base na melhoria contínua do sistema de produção. Como parte da Gestão da Qualidade Total, surge como um dos caminhos para alcançar a modernidade e competitividade. Mais do que uma ferramenta, é uma filosofia de trabalho, serve como uma preparação do terreno para que a Qualidade possa germinar (Gonzalez, 2002).

A filosofia dos 5S centra-se sobre a organização do local de trabalho e a padronização dos processos de trabalho, de maneira a torná-los efectivos. Tem o propósito de melhorar a eficiência

através da eliminação de materiais não usados, melhorando o fluxo de trabalho e mitigando os processos desnecessários. Pode ser aplicado em qualquer tipo de organização, quer seja industrial quer seja de serviços. Com o local de trabalho organizado e limpo assegura uma boa parte da produtividade. O sistema 5S faz guerra frontal aos desperdícios de tempo, riscos de acidente e paragens de máquinas devido a problemas de sujidade e desarrumações. A aplicação dos 5S requer dedicação e compromisso para que as práticas daí resultantes perdurem a longo prazo e acabem por se tornar num “estilo de vida” no trabalho (Metodologia 5S, 2004).

Esta metodologia é constituída por 5 etapas, cada uma correspondente a uma das cinco palavras japonesas que lhe dão o nome e que a seguir se transcrevem:

Seiri - Senso de utilização: separar os materiais que têm utilidade dos que não têm. Os materiais que têm utilidade serão aqueles que se mantêm no âmbito do local de trabalho e os inúteis podem ser eliminados, armazenados ou disponibilizados a outras unidades. O propósito deste S é “ter somente o que é útil e na quantidade correcta”;

Seiton - Senso de organização: identificar todos os materiais que se tenha decidido armazenar, tanto os que se estão a usar como os outros. Desta forma, qualquer pessoa que venha a utilizar um material determinado poderá encontrá-lo facilmente, usá-lo e repô-lo no mesmo local de forma eficaz e rápida. O propósito deste S é ter “um lugar para cada coisa e cada coisa no seu lugar”;

Seiso - Senso de limpeza: manter o local de trabalho limpo, identificando as fontes de sujidade e fazendo o reconhecimento dos pontos difíceis de limpar, segregando os materiais danificados e encontrando as soluções para eliminar as causas que criam estas situações. Este senso também pode ser encarado como um processo de Gestão Ambiental, já que há eliminação de fontes de poluição. O propósito é “conseguir um ambiente e um local de trabalho agradáveis”;

Seiketsu - Senso padronização: discernir um funcionamento normal de outro que é irregular. Criar padrões para manter o conseguido e facilitar a detecção de anomalias por simples observação directa. Na prática, ele funciona eliminando-se as fontes de perigo, embelezando o local de trabalho e promovendo actividades para a integração e desenvolvimento social dos funcionários. O propósito é “descobrir funcionamentos defeituosos por simples observação directa”.

Shitsuke - Senso de autodisciplina: criar a vontade de fazer as coisas como se supõe que se devem fazer. Desenvolver bons hábitos para manter um bom ambiente de trabalho. Só através da autodisciplina é possível manter e melhorar os outros S. Consolidar a institucionalização e a manutenção de bons hábitos de trabalho. O propósito é “institucionalizar e manter bons hábitos”. As 5 etapas no conjunto constituem um todo, na medida em que uma fase não é nada sem as outras. Há que abordá-las de forma continuada, uma após a outra, possibilitando uma visão global de melhoria sistemática no ambiente de trabalho e desenvolvendo cada fase em três etapas: operativa, de normalização e de manutenção e melhoria (Metodologia 5S, 2004).

3.3.6 Ferramentas estatísticas aplicadas à Qualidade

Na análise dos dados obtidos nos ensaios de arrancamento, são utilizadas as técnicas de estatística descritiva e de inferência estatística. A primeira procura sintetizar e representar de uma forma compreensível a informação contida num conjunto de dados e a segunda, com métodos e técnicas mais sofisticados, tem um objectivo mais ambicioso, com base num conjunto limitado de dados (uma amostra), pretende-se caracterizar o todo a partir do qual tais dados foram obtidos (a população). No âmbito da inferência estatística ao calcular estatísticas, existe o objectivo adicional de caracterizar a população a partir da qual a amostra foi retirada, procurando designadamente estimar parâmetros (Vasconcelos, 2008).

Para além das técnicas de estatística descritiva e inferência estatística, utilizadas para a análise dos dados, são utilizadas também, ao longo do relatório, outras ferramentas estatísticas aplicadas à Qualidade. Todas têm a finalidade de ajudar a definir, quantificar, analisar e identificar soluções para problemas que se encontram nos processos do trabalho.

3.3.6.1 Histograma

A simples observação dos dados recolhidos relativos a uma determinada característica da qualidade não permite extrair conclusões sobre a sua dispersão ou sobre o valor em torno do qual os dados se encontram centrados. O histograma não é mais do que um gráfico de barras que, ao ilustrar a frequência de ocorrência dos valores de uma variável contínua ou discreta, fornece informações importantes sobre a dispersão e localização dos valores recolhidos (Pereira e Requeijo, 2008). Em particular, permitem observar o padrão de variação dos dados, representar graficamente o comportamento de um processo, identificar quais os aspectos que necessitam de acções de melhoria, verificar se existem mudanças significativas num processo entre diferentes períodos de tempo, linhas de fabrico e procedimentos adoptados (Alvelos, 2008).

3.3.6.2 Diagrama de dispersão

O Diagrama de Dispersão permite a representação visual de um conjunto de dados, possibilitando uma interpretação rápida e/ou mais aprofundada do seu significado. Complementam a informação fornecida pelos histogramas, permitindo estudar relações entre diversas variáveis. Permitem estudar relações existentes entre duas variáveis: uma das variáveis é representada no eixo das abcissas ("xx") e a outra no eixo das ordenadas ("yy"); utilizam-se para estudar/confirmar a possível relação existente entre duas variáveis; normalmente a relação a estudar é do tipo Causa-e-Efeito (Alvelos, 2008). A quantificação da maior ou menor relação existente entre duas variáveis, X e Y, pode ser efectuada pelo cálculo do coeficiente de correlação linear ou de *Pearson*. Para estudar a correlação entre duas variáveis é necessário dispor de pelo menos 30 pares de valores, sendo habitual utilizar entre 30 a 100 pares de observações (Pereira e Requeijo, 2008).

A associação pode ser negativa se a variação entre as variáveis for em sentido contrário, isto é, se os aumentos de uma variável estão associados, ou pode ser positiva, se a variação entre as variáveis for no mesmo sentido (Pestana e Gageiro, 2008). Assim, o coeficiente de correlação (R) aproximadamente igual a 1 significa que existe uma forte correlação positiva, o coeficiente de correlação aproximadamente igual a -1 indicia uma forte correlação negativa. O valor do coeficiente de correlação igual a zero significa que não existe correlação entre as variáveis X e Y (Pereira e Requeijo, 2008). A correlação indica que os fenómenos não estão indissoluvelmente ligados, mas sim, que a intensidade de um é acompanhada tendencialmente (em média, com maior frequência) pela intensidade do outro, no mesmo sentido inverso (Pestana e Gageiro, 2008).

3.3.6.3 Teste de hipóteses

Um procedimento de Inferência Estatística é o teste de hipóteses, cujo objectivo fundamental é o de verificar se dados da amostra (ou estimativas obtidas a partir deles) são ou não compatíveis com determinadas populações. O resultado do teste corresponde a uma das duas respostas possíveis para aquela questão: afirmativa ou negativa. Em ambos os casos corre-se o risco de errar. Uma das características do teste de hipóteses é a de permitir controlar ou minimizar tal risco.

O procedimento básico envolvido num teste de hipóteses é decomposto em quatro fases: definição das hipóteses; identificação da estatística de teste e caracterização da sua distribuição; definição da regra de decisão, com especificação do nível de significância do teste; e cálculo da estatística de teste e tomada de decisão (Guimarães e Cabral, 2007).

Uma vez especificada a hipótese que se pretende verificar, designada de hipótese alternativa, H_1 , define-se a hipótese complementar de H_1 , que se designa por hipótese nula ou H_0 . A estratégia básica seguida no método do teste de hipóteses consiste em tentar suportar a validade de H_1 , ou seja, conseguindo-se mostrar que, com uma elevada probabilidade, a hipótese nula é falsa, fica assim corroborada a validade da hipótese alternativa. Se, pelo contrário, não se puder rejeitar H_0 , a hipótese H_1 não será reforçada pelo teste (Guimarães e Cabral, 2007).

A estatística que é utilizada para verificar a plausibilidade da hipótese nula designa-se por estatística de teste, (E.T). Para que tal estatística possa cumprir a sua função, é necessário conhecer a sua distribuição quando se admitir que é verdadeira a hipótese nula (Guimarães e Cabral, 2007).

A decisão de rejeitar ou não a hipótese nula fundamenta-se no valor que a estatística de teste toma. Se, no caso de a hipótese nula ser verdadeira, o valor da E.T. for muito improvável, então H_0 deverá ser rejeitada em favor de H_1 . A probabilidade α , de rejeitar H_0 sendo ela verdadeira, designa-se por nível de significância do teste. Embora se possa atribuir ao nível de significância

um valor qualquer situado entre 0 e 1 os valores mais frequentes são $\alpha = 0,05$ (5%) e $\alpha = 0,01$ (1%) (Guimarães e Cabral, 2007).

A última fase do teste de hipóteses corresponde ao cálculo da E.T. e à tomada de decisão. De acordo com o procedimento anteriormente descrito para o teste de hipóteses, no final toma-se uma decisão de rejeição ou de não-rejeição da hipótese nula. O valor de prova (ou valor p) constitui uma medida do grau com que os dados amostrais contradizem a hipótese nula. A sua definição é a seguinte: o valor de prova corresponde à probabilidade de a estatística de teste tomar um valor igual ou mais extremo do que aquele que, de facto, é observado. Note-se que, tal como a estatística de teste, o valor de prova é calculado admitindo que H_0 é verdadeiro. Como é evidente, quanto menor for o valor de prova maior será o grau com que a hipótese nula é contradita. Dada a relevância da informação contida no valor de prova, é recomendável a sua inclusão explícita nos resultados de qualquer teste de hipóteses. Muito mais esclarecedor do que dizer que uma hipótese nula foi rejeitada ao nível de significância de 5% é afirmar que isso sucedeu e que o valor de prova foi, suponha-se, de 0,3% (Guimarães e Cabral, 2007).

O software SPSS, utilizado para o tratamento dos dados, calcula o valor de prova (p -value) para testes bilaterais. Quanto menor o valor de prova mais forte é a evidência contra a hipótese nula de ausência de efeito experimental ou relação. Se o valor de prova for menor que o nível de significância (por exemplo, $\alpha = 0,05$) então a evidência contra a hipótese em teste é significativa (Maroco, 2007).

3.3.6.4 Anova

A comparação de médias de duas ou mais populações de onde foram extraídas amostras aleatórias e independentes pode fazer-se através de uma metodologia proposta por Fisher e genericamente designada por Análise de Variância, (abreviatura Anova do inglês *Analysis of Variance*), se a distribuição da variável em estudo for Normal e se as variâncias populacionais forem homogéneas. A Análise de Variância compara a variância dentro das amostras ou grupos (também designada por variância residual, dos erros ou dentro do grupo) com a variância entre as amostras ou grupos (também designada por variância do factor ou entre grupos). Se a variância residual for significativamente inferior à variância entre os grupos ou amostras, então as médias populacionais estimadas a partir das amostras, são significativamente diferentes. Se existir apenas um factor em estudo (variável independente) a análise de variância designa-se por Anova a um factor (Maroco, 2007).

3.3.6.5 Análise da Capacidade do Processo

A análise da capacidade do processo consiste em comparar a distribuição de uma determinada característica do produto com as especificações previamente estabelecidas. É necessário saber se o processo tem capacidade de produzir de acordo com as especificações estabelecidas para o

produto. Os índices de capacidade de processo permitem avaliar como é que um processo está a produzir face à especificação técnica ou funcional. Assumindo que a distribuição Normal pode ser usada na modelação da maioria dos processos industriais, pode considerar-se que a variação aceitável para o processo é igual a 6σ , em que σ é o desvio padrão do processo. Significa que 99,73% dos valores de uma determinada característica estarão naturalmente compreendidos entre $\mu \pm 3\sigma$, em que μ é a média do processo. Mesmo que as variáveis sigam apenas aproximadamente a distribuição normal, é razoável considerar que o intervalo 6σ inclui pelo menos 99% dos valores (Pereira e Requeijo, 2008).

O índice da primeira geração C_p é definido, para casos em que a especificação é bilateral, por:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (\text{equação 2})$$

em que LIE é o limite inferior da especificação e o LSE é o limite superior da especificação.

C_p é designado por índice de capacidade potencial. Considera-se, em geral, que $C_p = 1,33$ é um valor aceitável para processos ou máquinas existentes quando a especificação é bilateral. No entanto, um bom desempenho do processo implica que a variabilidade seja bastante reduzida, ou seja, que a capacidade do processo seja a mais alta possível. A metodologia 6-Sigma, por exemplo, exige que a capacidade seja pelo menos igual a 2. É importante referir, que um processo pode ter um $C_p = 1,33$ e estar a produzir material não conforme porque a sua média não está centrada no valor nominal. Assim, surgiram outros indicadores de desempenho do processo, como índices da segunda geração C_{pk} e C_{pm} . O índice de capacidade C_{pk} considera não só a dispersão como também a localização da média e é definido por:

$$C_{pk} = \min ((C_{pk})_I, (C_{pk})_S) \quad (\text{equação 3})$$

$$(C_{pk})_I = \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \quad (\text{equação 4})$$

$$(C_{pk})_S = \frac{LSE - \mu}{3\sigma} \quad (\text{equação 5})$$

O processo será capaz se $C_{pk} \geq 1,33$.

Se a especificação for unilateral, o índice da capacidade do processo C_{pk} é definido pela equação 4 quando a característica é do tipo quanto-maior-melhor e tem obrigatoriamente de se encontrar acima de um limite inferior de especificação LIE ou pela equação 5 quando se está perante uma característica do tipo quanto-menor-melhor, que tem de estar abaixo de um limite superior de especificação LSE . Para uma especificação técnica unilateral, considera-se habitualmente que o processo é capaz quando $C_{pk} \geq 1,25$. No entanto o valor de C_{pk} deve ser o mais elevado possível. Como referido anteriormente, este índice aplica-se quando os dados referentes à característica da

qualidade em estudo são normalmente distribuídos. Caso contrário, se os dados referentes à característica não são normalmente distribuídos, o índice anteriormente referido não é aplicável. Nestas condições, assume-se, frequentemente, que a probabilidade de um valor da variável se encontrar no intervalo $\mu \pm 2,575\sigma$ é igual a 99%. Neste caso, o índice da capacidade do processo C_{pk} é definido pela equação $C_{pk} = \frac{\mu - LIE}{2,575\sigma}$ (Pereira e Requeijo, 2008).

Capítulo 4. Desenvolvimento do Projecto

4.1 Apresentação da empresa

A Gestamp Aveiro, Indústria de Acessórios de Automóveis, S.A., dedica-se ao fabrico de componentes metálicos (peças estampadas, soldadas e/ou pintadas) para a indústria automóvel. Localiza-se em Nogueira do Cravo, concelho de Oliveira de Azeméis, a cerca de 40 km a sul do Porto, a 5 km da estrada IC2 de S. João da Madeira e integrada numa zona industrial (Lima, 2007).



Figura 7. Gestamp Aveiro

4.2 Breve evolução histórica da empresa

A Empresa iniciou a sua actividade em 1988, designando-se na altura Taval, Indústria de Acessórios de Automóveis, Lda., centrando a sua actividade na fabricação de peças metálicas para o sector automóvel, tendo no período inicial trabalhado para as linhas de montagem dos construtores sediados em Portugal, nomeadamente "Citroën - Mangualde", em regime de fornecedor directo. Com o aumento gradual da sua capacidade industrial começou a vender directamente para as diversas unidades de montagem na Europa, com maior incidência nas fábricas do Grupo G.M. Neste período, efectua contratos de fornecedor exclusivo de determinados componentes para todo o mundo, assegurando o abastecimento de todas as linhas de montagem desde a Europa, passando pela América Latina e América do Norte.

Em 1992/3 a Taval desenvolveu um projecto de investimento de 3.000.000€, englobando aumento da capacidade produtiva, melhoria na gestão e organização da Empresa. No que respeita à homologação do Sistema da Qualidade, a Empresa esteve certificada pelo IPQ, segundo a NP EN ISO 9002 desde 1992 até ao ano de 1996. A partir de 1997, e na tentativa de responder às necessidades dos seus clientes, a Taval obteve as seguintes certificações:

- Dezembro de 1997, certificação segundo a norma NP EN ISO 9001 / Referencial QS 9000, concedida pelo BVQI;
- Maio de 1998, a Taval conseguiu homologar o seu sistema da Qualidade segundo o Referencial EAQF 94, Grupo Sogedac;
- Setembro de 1999, obteve a certificação segundo o referencial VDA 6.1, concedida também pelo BVQI;

Em Janeiro de 2001, a Taval foi adquirida pelo grupo Gestamp Automocion, passando a ser designada de Gestamp Aveiro, S.A. O grupo Gestamp Automocion é actualmente uma multinacional com presença em 17 países, conta com 56 empresas e 9 centros de I&D, Investigação & Desenvolvimento, (Gestamp Automocion), com um percurso que lhe permitiu

afirmar-se como líder Europeu no sector da transformação de aço e fabrico de componentes metálicos para a indústria automóvel, bem como a sua armazenagem e logística (Lima, 2007).

Actualmente, a Gestamp Automocion cobre todo o mercado de estampagem, incidindo com mais intensidade no segmento da estampagem de peças grandes/médias de carroçaria, assim como a soldadura, montagem e pintura, desde o design e industrialização até à produção em série. Nestes últimos anos as acções da Gestamp Aveiro têm-se dirigido à melhoria contínua da Qualidade e do Ambiente, apostando no reforço da competitividade tendo em vista a satisfação dos seus clientes, encarando estes objectivos sempre na vertente da Qualidade e Ambiente. Assim, a empresa viu reconhecidos os seus sistemas de Gestão da Qualidade e Ambiente, obtendo as seguintes certificações:

- Junho de 2003, o BVQI certificou o Sistema da Qualidade da empresa segundo a norma ISO/TS 16949:2002;
- Fevereiro de 2003, a empresa vê o seu Sistema de Gestão Ambiental certificado pelo BVQI, segundo a norma NP EN ISO 14001;
- Novembro de 2002, a Gestamp Aveiro foi seleccionada pelo Júri da 7ª Edição do “PREMIO SOLUZIONA CALIDAD Y MEDIO AMBIENTE A LA EXCELENCIA” obtendo uma Menção Honrosa na área dos Resultados na categoria de Grande Empresa;
- Novembro de 2004, a Gestamp Aveiro foi seleccionada pelo Júri da 9ª Edição do “PREMIO SOLUZIONA CALIDAD Y MEDIO AMBIENTE A LA EXCELENCIA” obtendo uma Menção Honrosa na área da Liderança na categoria de Grande Empresa;
- Novembro de 2005, a Gestamp Aveiro foi seleccionada pelo Júri da 10ª Edição do “PREMIO APPLUS A LA EXCELENCIA” obtendo o primeiro prémio na categoria de Grande Empresa;
- Junho de 2006, a Gestamp Aveiro obteve a Re-certificação dos Sistemas de Gestão do Ambiente e de Gestão da Qualidade, pelo BVQI (Lima, 2007).

4.3 Organização da empresa

A estrutura interna da Gestamp Aveiro é apresentada no organigrama geral, (ver figura 8).

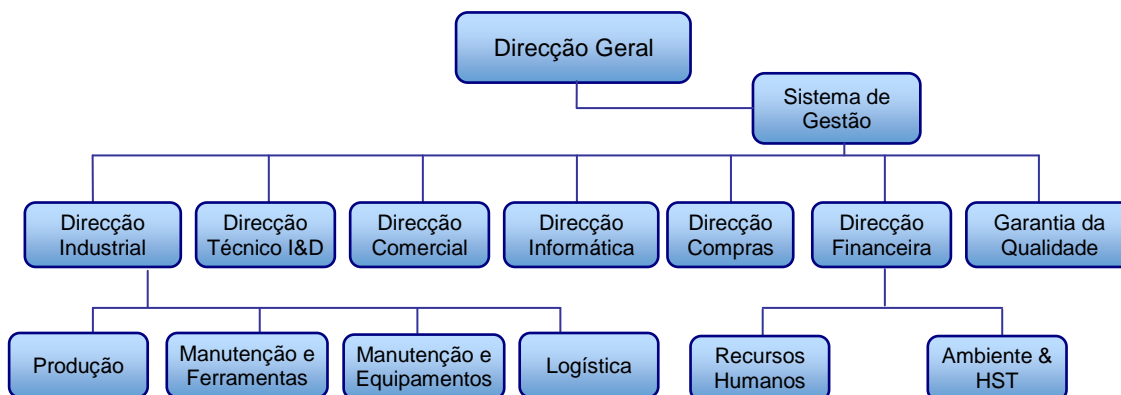


Figura 8. Organigrama geral da Gestamp Aveiro.

Fonte: Gestamp Aveiro

4.4 Descrição do processo produtivo

A actividade da empresa centra-se essencialmente na produção de componentes metálicos, conjuntos soldados e conjuntos funcionais, assim como a protecção de superfície de vários componentes para a indústria automóvel. Os processos tecnológicos dividem-se em três grupos principais: estampagem, soldadura e pintura. Apresenta-se o processo produtivo na figura 9.

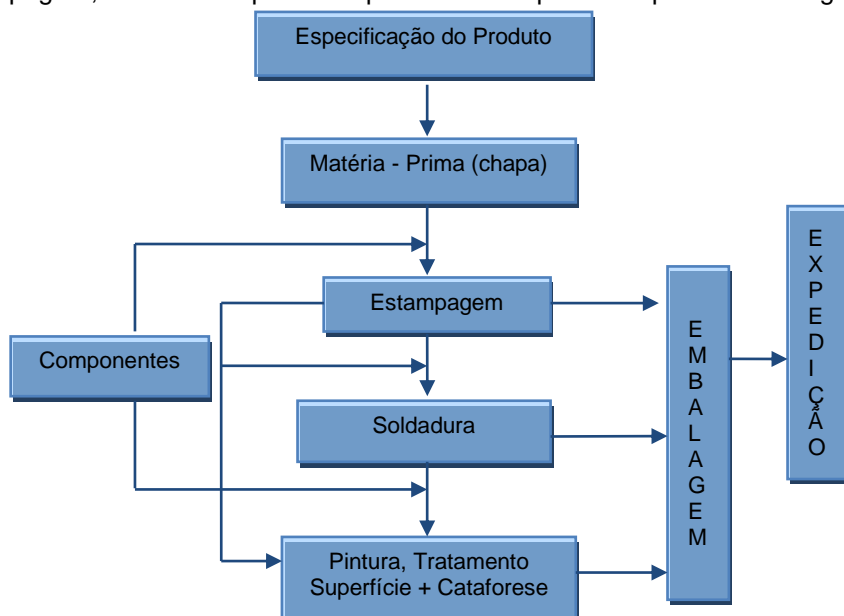


Figura 9. Processo produtivo.

Fonte: Gestamp Aveiro

Na estampagem, a matéria-prima, chapa, sofre uma transformação pela aplicação de pressão exercida nas prensas, normalmente mecânicas. Estas prensas realizam um movimento muito rápido, submetendo o material a uma deformação brusca (estampagem). Estas prensas podem ser denominadas como progressivas ou *transfers*, consoante a alimentação da matéria-prima seja feita em rolos ou formatos (respectivamente). No final, resultam as peças estampadas de diferentes dimensões que podem ser directamente expeditas ou passar pelos processos seguintes: soldadura e/ou pintura.

No processo de soldadura as peças provenientes da estampagem podem ser soldadas entre elas, formando conjuntos soldados ou submeterem-se à soldadura de um, ou vários componentes (porcas, parafusos, varões). A soldadura é diferenciada em dois tipos: soldadura por resistência (por pontos e por bossas) e soldadura MIG/MAG. O primeiro processo consiste na combinação de calor gerado pela corrente eléctrica, de elevada intensidade, com a aplicação da força mecânica que exercida sobre os eléctrodos (acessórios de cobre). Esta soldadura pode realizar-se através de prensas manuais ou em instalações automatizadas (células robotizadas). O princípio da soldadura MIG/MAG consiste em introduzir um fio de metal na tocha, fio esse que é fundido no arco eléctrico. O arame de soldar desempenha duas funções: por um lado é o eléctrico que conduz corrente, por outro, é também, em simultâneo, o material de adição a ser introduzido na

soldadura. Um gás de protecção que flui através do bocal da tocha protege o arco eléctrico e o material em fusão, podendo o mesmo ser inerte (MIG) ou activo (MAG). Os gases inertes, tais como o árgon, não entram em reacção com o material em fusão. Por outro lado, os gases activos, não só interferem no próprio arco eléctrico, como também reagem com o material fundido. Da mesma forma que no processo anterior, as peças podem ser directamente expedidas ou passarem ao processo seguinte, pintura.

Na pintura cataforese, as peças provenientes de fases anteriores são dispostas num suporte e este, por sua vez, é colocado numa cadeia que percorre todas as fases deste processo automatizado. A única intervenção humana consiste na colocação e retirada de peça da cadeia de pintura. Este procedimento possui essencialmente 3 fases distintas: pré-tratamento, pintura, secagem e polimerização. No final deste processo as peças são acondicionadas e expedidas para o cliente (Lima, 2006).

4.5 Desenvolvimento do Projecto

4.5.1 Introdução

O projecto a desenvolver incide em dois aspectos essenciais: o primeiro consiste na análise do sistema de ensaios de arrancamento, utilizando uma prensa hidráulica, e o segundo passa por estudar o processo de soldadura por projecção. A qualidade de cada soldadura é verificada pela força de cedência, em kN, da união dos elementos soldados e por uma avaliação qualitativa da soldadura (OK ou NOT OK). A soldadura está conforme, (OK), quando após o arranque do elemento soldado, porca ou parafuso, se verifica que houve arrancamento de chapa. Na figura 10 estão representados arrancamentos OK e NOT OK de porcas soldadas. Na figura 11 estão representados alguns componentes soldados.

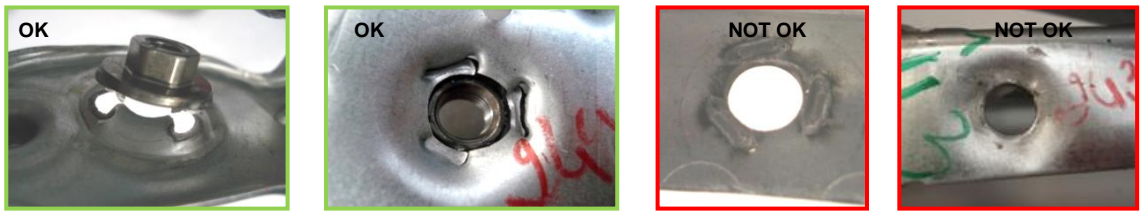


Figura 10. Soldadura de porcas.

Fonte: Gestamp Aveiro

Porca Quadrada M6	Porca Hexagonal M8	Porca Hexagonal M10	Porca Especial M12	Porca Quadrada M12	Parafuso M8
					

Figura 11. Componentes soldados.

Fonte: Gestamp Aveiro

Os aspectos referidos anteriormente permitirão estudar o processo de soldadura por resistência, retirar conclusões sobre as principais causas de soldadura deficiente e propor acções de melhoria com vista a redução da variabilidade e consequente aumento da capacidade do processo.

4.5.2 Metodologia

A metodologia utilizada no desenvolvimento deste trabalho consistiu na revisão da literatura, análise do processo de soldadura da Gestamp Aveiro, recolha dos dados, tratamento estatístico dos dados, propostas de melhoria, análise dos resultados e conclusões.

Os dados foram recolhidos directamente num formulário de recolha de dados, com o formato de uma folha de cálculo, elaborado pela autora, de modo a simplificar o posterior processo de tratamento e análise de dados. A análise dos resultados foi realizada com o auxílio do programa Statistical Package for Social Sciences (SPSS) que possibilita uma análise estatística a dois níveis diferentes: estatística descritiva e estatística inferência. Foram utilizadas as seguintes técnicas no âmbito da Gestão da Qualidade: formulário de recolha de dados, *Brainstorming*, Diagrama Causa-e-Efeito, 5S e ferramentas estatísticas (histogramas, diagrama de dispersão, testes de hipóteses, Anova e análise da capacidade do processo).

4.5.3 Ensaio de arrancamento

Para a realização dos ensaios de arrancamento, a processos de soldadura por projecção, é utilizada uma prensa hidráulica manual de 30TON, (ver Anexo A figura A1), que permite o arrancamento por compressão de porcas e parafusos. Esta prensa possui uma célula de carga, na parte superior, onde é registado, em kN, o valor da força exercida aquando do ensaio. A força exercida é aplicada de forma manual pelo trabalhador na alavanca, (ver Anexo A figura A2). A soldadura está conforme, quando após o arranque do elemento soldado se verifica que houve rompimento da chapa e que o valor da força de arrancamento, em kN, é igual ou superior à força definida na gama, valor de especificação, (caso exista). A realização deste ensaio, em porcas e em parafusos, é apresentada esquematicamente na figura 12.

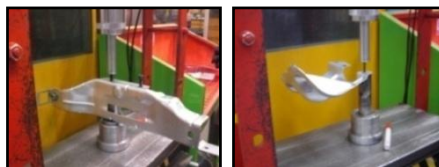


Figura 12. Ensaio de compressão a porcas e a parafusos soldados.

Fonte: Gestamp Aveiro

Apesar de já se efectuarem este tipo de ensaios na empresa, os dados registados nunca foram analisados e não existe um procedimento para o teste em causa. Assim, elaborou-se uma Instrução de Trabalho, (ver anexo B), e um fluxograma do processo de ensaio de arrancamento com a utilização da prensa hidráulica, (ver anexo C).

4.5.4 Organização da informação relativa aos ensaios de arrancamento

4.5.4.1 Identificação dos componentes soldados de cada referência

Cada referência apresentava um ou mais componentes soldados. A falta de identificação de cada componente, essencialmente quando as peças tinham mais do que um componente e estes eram repetidos, impossibilitava a sua identificação, impedindo relacionar a força de arrancamento com o componente. Aplicando a um caso prático: uma peça com dois componentes iguais e um desses componentes apresente uma soldadura deficiente, não seria possível identificar, depois de registado o valor de arrancamento no papel, qual o componente com soldadura deficiente. Consequentemente, não era possível associar a esta soldadura a máquina de soldadura, o gabarit, e o eléctrodo. Não permitindo recuar no processo e identificar as características e os parâmetros dessa mesma de soldadura.

Assim, uma das medidas implementadas foi identificar, numerando na Gama de Fabrico e Controlo do Processo, todos os componentes soldados, (porcas e/ou parafusos). A ordem de arrancamento e registo de valores é dada pelos números colocados no *croqui* de cada peça, de forma a identificar correctamente os componentes. As figuras 13 e 14 ilustram exemplos para ambas as situações, peças com componentes não numerados e peças com componentes numerados, respectivamente.



Figura 13. Peças sem numeração das porcas.

Fonte: Gestamp Aveiro

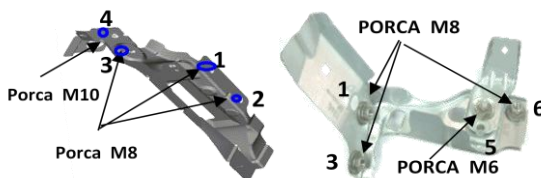


Figura 14. Peças com numeração das porcas.

Fonte: Gestamp Aveiro

Inicialmente aplicou-se esta identificação a peças mais críticas e gradualmente foi aplicada às restantes referências, cerca de 80. De forma a facilitar a identificação, por parte do operador, foram colocadas no local de trabalho ajudas visuais relativas a algumas peças e uma manual de apoio com as restantes.

4.5.4.2 Uniformização dos acessórios de ensaio

Na realização dos ensaios de arrancamento a porcas e parafusos, são utilizados acessórios inferiores e superiores que se adaptam ao componente e à própria peça. A existência de vários componentes, com diferentes diâmetros e peças com diferentes geometrias exige o uso de diferentes acessórios.

O problema detectado refere-se ao facto dos acessórios utilizados pelos diferentes trabalhadores não serem os mesmos para determinado componente. Assim, de maneira a uniformizar o método e dispositivos de ensaios de arrancamento, e para que o teste a determinado componente seja efectuado sempre da mesma forma, utilizando o mesmo acessório, foram numerados os acessórios, diferenciando-se os superiores e inferiores, e os utilizados para porcas e parafusos, (ver Anexo D).

Foi, também, efectuado um levantamento dos acessórios utilizados para determinado componente/peça e esta informação foi colocada junto ao posto de trabalho para respectiva consulta. Esta informação mantém-se em constante actualização, quer porque há desenvolvimento de novos acessórios para peças já existentes, quer porque existem peças novas que exigem novos acessórios.

4.5.5 Desenvolvimento de um formulário de recolha de dados

Os registos dos ensaios de arrancamento eram efectuados numa folha em papel A3 de forma manual. Dos campos de preenchimento constavam: a data do ensaio de arrancamento, o número do operador que efectuou o ensaio, a referência da peça testada, os componentes da peça e a força de arrancamento, em kN, para cada componente. Este método de registos apresenta vários problemas: dificuldades apresentadas pelos operadores no registo da informação; dificuldade em interpretar os registos, levando a que muita da informação seja ambígua, logo passível de não ser considerada; perda de folhas de registo; tempo de registo perdido pelos operadores, grande avultado de papéis e desperdício de papel.

De forma a resolver os problemas detectados, elaborou-se um formulário de recolha de dados, com o formato de uma folha de cálculo, onde o operador efectua o registo dos ensaios de arrancamento. Atendendo aos utilizadores do formulário, e aliado ao facto do formulário ser em suporte electrónico, teve-se o cuidado de desenvolver uma ferramenta interactiva, intuitiva e fácil de trabalhar, (ver Anexo E - Formulário de recolha de dados).

Este formulário permite simplificar os registos, planear e conduzir a recolha de dados de uma forma completa, organizada, clara, precisa e fidedigna, diminuir consideravelmente o tempo de registo, reduzir o desperdício de papel e ter alguma responsabilidade com meio ambiente. O formulário de recolha de dados permite, para além dos registos gerais relativos à maior parte das peças, aceder a uma folha para referências consideradas críticas. O operador terá que escolher o cliente, clicar na referência pretendida e ser-lhe-á disponibilizada a página individual da referência em estudo, (ver figura 15). Esta página contém variadíssima informação, desde a referência interna da peça, a espessura da chapa, o tipo de chapa, os componentes que a constituem, o *croqui* da peça com numeração dos componentes, acessórios a utilizar aquando do ensaio de arrancamento, valores de especificação, (caso existam), zona de inserção dos dados e gráficos para cada componente relativos à força de arrancamento.

Antes do desenvolvimento do formulário de recolha de dados foi efectuada uma consulta aos operadores de ensaios de arrancamento. É fundamental envolver os trabalhadores no processo de mudança, dando a conhecer as vantagens da mesma. Toda a formação/informação relativa ao registo dos dados em formato electrónico ficou a cargo da autora.

Formulário de Recolha de Dados - Ensaios Arrancamento - Microsoft Excel

ANTERIOR

Máquina C1020R01

Referência SAP S 867 268 U0A

Porca M10

Porca M8

XES G10/10

Espeçura 1,95

Referência SAP Z 043 092 U PO

Tipo de Componente

Dispositivo de Ensaio 1/2-M8 2-M8 4-M10

Acessório Inferior 8 20 21

Acessório Superior 1

Limite de Especificação 10 kN 11 kN

DATA	HORA	SEMANA	Nº OPER.	Máquina de Teste	PRENSA 1 Nº SOLDADURAS ELÉCTRODO	PRENSA 2 Nº SOLDADURAS ELÉCTRODO	PASTILHA (M8)	PASTILHA (M10)	1 - M8	2 - M8	3 - M8	4 - M10	Observações
7-Abr	6:00		601	manual	303	606	303	303	15,0	15,0	15,2	20,2	
7-Abr	8:00		601	manual					16,6	14,8	15,7	20,1	

Figura 15. Formulário específico para peças de maior criticidade.

4.5.6 Implementação da ferramenta 5S

A apesar da simplicidade da ferramenta 5S e da aparente unanimidade em torno da eficácia do programa, é preciso cuidado para adaptar os seus princípios à realidade. A implementação visa garantir as condições necessárias para trabalhar de acordo com o padrão 5S, promovendo ambientes de trabalho organizados, funcionais e seguros, despertando a consciência de todos para a necessidade de eliminar desperdícios. O local de trabalho organizado e limpo assegura uma boa parte da produtividade. O facto do posto de trabalho onde são efectuados os ensaios de arrancamento apresentar evidências de desorganização, sujidade, materiais que não são utilizados e existir desperdício de tempo para encontrar materiais, resolveu-se implementar a ferramenta 5S. É prática comum a aplicação desta ferramenta a vários sectores da empresa.

A seguir são descritos os objectivos definidos, os métodos utilizados para cada uma das cinco etapas e algumas figuras evidenciando o resultado de cada etapa.

1ª Etapa - Arrumar

O hábito de guardar, armazenar e acumular aquilo que de momento não nos serve, com a ideia de que “um dia pode ser necessário”, é uma atitude comum em muitos locais de trabalho. A longo prazo esta situação vai-se agravando e acaba por afectar de facto o trabalho do dia-a-dia.

“Separar o que é necessário do que não é necessário”

Objectivos

- Preparar o ambiente de trabalho para que se torne mais seguro e produtivo;

- Favorecer um menor cansaço físico;
- Favorecer uma maior facilidade operativa;
- Evitar a compra de materiais em duplicado;
- Prevenir a danificação dos materiais e equipamentos;
- Evitar o consumo de espaço;
- Ter apenas o que é útil e na quantidade certa.

Método

- Registrar a situação original do posto de trabalho dos ensaios de arrancamento, antes e após a etapa através de fotos (figura 16);
- Separar os acessórios necessários dos que não são necessários;
- Sinalizar as situações anormais e os materiais desnecessários encontrados (acessórios inúteis, parafusos em mau estado de utilização, sujidades, fugas de óleo, mau estado);
- Armazenar em armários da produção acessórios desnecessários;
- Definir prazos e responsáveis para a resolução das anomalias e providenciar que as situações sinalizadas sejam resolvidas dentro dos prazos;
- Fazer balanço das acções (anomalias tratadas);
- Realizar, no final da etapa, auditoria 5S ao posto, debater resultado e lançar etapa seguinte.

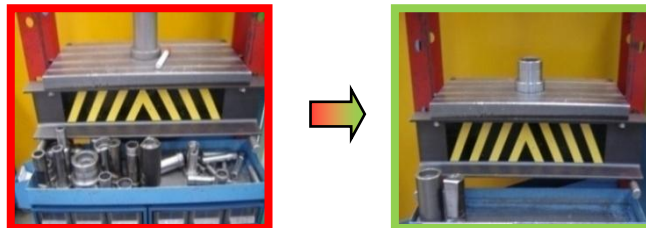


Figura 16. 5S - antes e após a 1ª etapa.

Fonte: Gestamp Aveiro

2ª Etapa - Organizar

Após a separação e eliminação do material inútil, deve-se estabelecer critérios de arrumação destes materiais, definir procedimentos para fazer uso deles mais facilmente e criar uma metodologia de recolocação do material no seu local de origem.

“Colocar cada coisa no seu lugar”

Objectivos

- Qualquer pessoa encontre facilmente o que procura;
- Tornar rápida e simples a sua recolocação no seu lugar;
- Ter maior aproveitamento do espaço;
- Facilitar a limpeza;
- Aumentar o sentido de responsabilidade e compromisso com a qualidade do trabalho;
- Ter um lugar para cada coisa e cada coisa no seu lugar.

Método

- Verificar se ainda existem objectos sem lugar definido ou adequado;
- Definir os lugares de armazenamento para acessórios inferiores e superiores, parafusos, capa de registos, manual de referências, computador e pano de limpeza, (ver figura 17);
- Objectos de uso frequente foram colocados nas gavetas mais próximas;
- Persistir na eliminação de situações sinalizadas;
- Definir prazos e responsáveis para a resolução das anomalias e providenciar que as situações pendentes sejam resolvidas dentro dos prazos;
- Fazer balanço das acções (anomalias tratadas);
- Realizar, no final da etapa, auditoria 5S ao posto, debater resultado e lançar etapa seguinte.

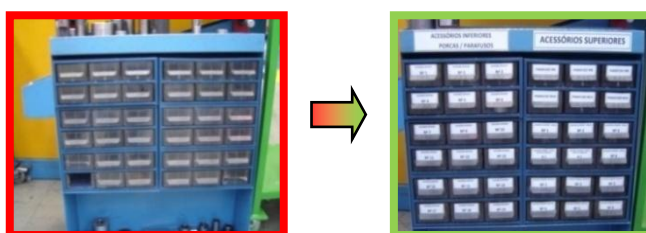


Figura 17. 5S - antes e após a 2ª etapa.

3ª Etapa - Limpar

Esta etapa não se limita à simples supressão da sujidade para manter uma estética agradável. O objectivo desta fase não é impressionar visualmente, mas sim obter um ambiente ideal onde se possa trabalhar com gosto. Além disso, está relacionada com o bom funcionamento dos equipamentos, instrumentos e materiais, bem como com a capacidade de prestar serviços de qualidade.

“Eliminar fontes de sujidade”

Objectivos

- Manter o local de trabalho limpo;
- Evitar erros e acções potencialmente perigosas;
- Facilitar a limpeza;
- Aumentar a segurança no local de trabalho;
- Evitar sujar para não ter de limpar.

Método

- Organizar a limpeza;
- Limpar a fundo todo o local de trabalho;
- Criar de padrões de limpeza com fotos antes/depois e normas;
- Identificar as causas que estão na origem de todo o tipo de sujidade;

- Avaliar se as soluções são as adequadas, caso contrário, reavaliar, analisar, aplicar e avaliar novamente;
- Organizar a limpeza fornecendo todos os meios necessários e definindo plano de limpeza para o futuro, (ver figura 18);
- Persistir na eliminação de situações sinalizadas;
- Fazer balanço das acções (anomalias tratadas);
- Realizar, no final da etapa, auditoria 5S ao posto, debater resultado e lançar etapa seguinte.



Figura 18. 5S - após a 3ª etapa.

Fonte: Gestamp Aveiro

4ª Etapa - Padronizar

A 4ª etapa é a que permite manter os ganhos alcançados com as três primeiras etapas. Se não existe um processo para preservar os ganhos, é possível que o ambiente de trabalho volte a ter novamente elementos inúteis e se perca a limpeza alcançada com as nossas acções anteriores.

“Criar padrões para manter o conseguido e facilitar a detecção de anomalias por simples observação directa”

Objectivos

- Manter os ganhos conseguidos nas etapas anteriores;
- Facilitar a manutenção dos ganhos de agora em diante;
- Incentivar o trabalho em equipa: todos têm de colaborar;
- Aumento de produtividade diminuindo os períodos de realização das actividades;
- Melhorar o desempenho dos trabalhadores;
- Melhorar a imagem interna e externa da empresa;
- Elevar o nível de satisfação e motivação das pessoas em relação ao trabalho;
- A criação de um padrão é uma referência a seguir.

Método

- Registrar a situação original do lugar antes e após a etapa através de fotos (ver figura 19);
- Identificar quais os locais dos elementos e sinalizá-los;
- Identificar que regras/procedimentos/escalas de limpeza/modos operatórios devem existir;
- Identificar todos os elementos e locais que devam ser identificados;
- Definir prazos e responsáveis para a resolução das anomalias e providenciar que as situações sinalizadas sejam resolvidas dentro dos prazos;

- Fazer balanço das acções (anomalias tratadas);
- Realizar, no final da etapa, auditoria 5S ao posto, debater resultado e lançar etapa seguinte.

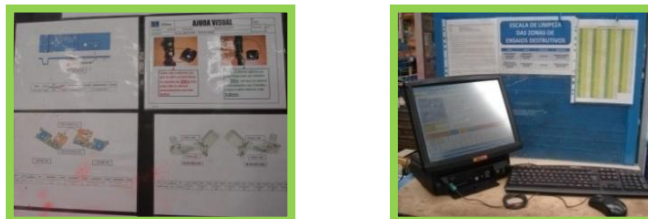


Figura 19. Após a 4ª etapa.

Fonte: Gestamp Aveiro

5ª Etapa - Treinar e disciplinar

A 5ª etapa é a fase mais difícil de alcançar e implementar. O ser humano resiste por natureza à mudança e muitas organizações acabam por se voltar a encontrar num ambiente de trabalho “sujo” poucos meses após ter tentado implementar os 5S. Por outro lado, os líderes não empregam por vezes os métodos mais adequados para desenvolver os bons hábitos nas pessoas ou falham a dar o exemplo necessário. Trata-se de converter em rotina, numa parte integrante dos nossos afazeres, as melhorias alcançadas com as anteriores quatro etapas. Esta etapa é o melhor exemplo de compromisso com a Melhoria Contínua. Todos devem assumi-la, porque todos sairão beneficiados.

“Consolidar a institucionalização e a manutenção de bons hábitos de trabalho”

Objectivos

- Fazer dos hábitos criados, rotina;
- Institucionalizar o cumprimento de regras e procedimentos;
- Garantir que os resultados alcançados são irreversíveis;
- Criar uma cultura de sensibilidade, respeito e cuidados pelos recursos da empresa;
- Aumentar a motivação para trabalhar;
- Melhorar a imagem interna e externa da empresa;
- Elevar a motivação das pessoas em relação à empresa;
- Seguir melhorando sem parar por aqui.

Método

- Assegurar que as diferentes fases foram compreendidas e respeitar as normas e procedimentos definidos;
- Fazer balanço das acções (anomalias tratadas);
- Mostrar as melhorias alcançadas;
- Realizar o auto-controlo a nível pessoal;
- Sugerir pontos de melhoria;
- Realçar o facto de que manter os resultados alcançados é um trabalho de equipa.

4.5.7 Estudo da força de arrancamento

4.5.7.1 Estudo estatístico da força de arrancamento de porcas M8 e M10

Neste ponto estudaram-se referências consideradas, pela empresa, como as de maior criticidade. Estão representadas na figura 20, duas das peças estudadas. Como componentes soldados têm porcas M8 e porcas M10. Ao nível da geometria as peças são simétricas, apresentando uma diferença relativamente ao número de porcas M8, a peça 092, figura 20 a), possui duas porcas M8 enquanto a peça 268, figura 20 b), possui três porcas M8.

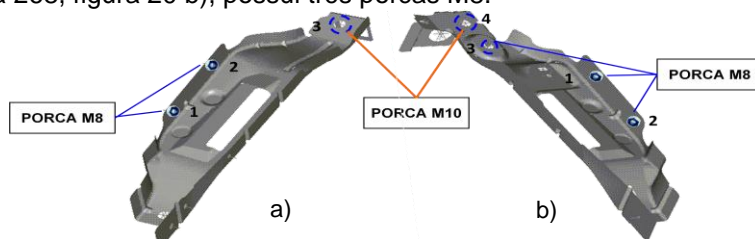


Figura 20. Peças estudadas - a) referências 092 e b) referências 268.

Fonte: Gestamp Aveiro

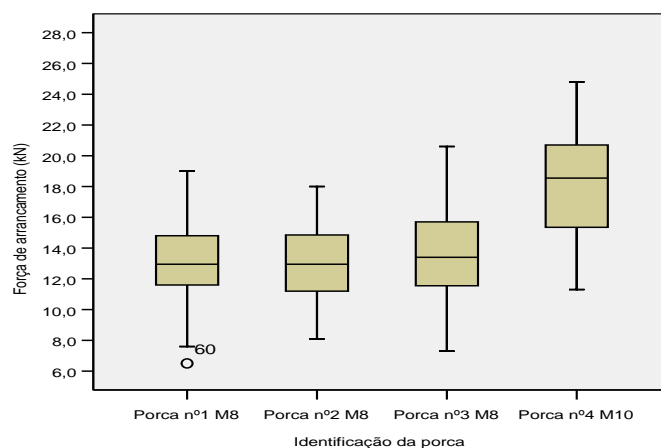
De forma a analisar os valores relativos à força de arrancamento das porcas M8 e M10, recolheram-se duas amostras, uma para cada referência, no período de 23/10/2008 a 10/2/2009. O valor de especificação para as porcas M8 é de 10kN e para as porcas M10 é de 11kN.

De seguida, apresentam-se os estudos relativos à força de arrancamento respeitantes às referências 268 e 092. O primeiro estudo refere-se à referência 268. Na tabela 1 apresentam-se as estatísticas descritivas da força de arrancamento para as porcas M8 e M10. O gráfico 1 permite de forma simples, visualizar as principais características da variável em estudo.

Tabela 1. Estatísticas descritivas - amostra inicial da referência 268.

Referência - 268	n	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Porca nº1 M8	128	6,50	19,00	13,16	2,2517
Porca nº2 M8	128	8,10	18,00	13,08	2,2253
Porca nº3 M8	128	7,30	20,60	13,66	2,7520
Porca nº4 M10	128	11,30	24,80	18,09	3,2595

Gráfico 1. Diagrama tipo caixa - amostra inicial da referência 268.



Dos resultados da tabela 1 e do gráfico 1 verifica-se que as porcas M8 apresentam médias mais baixas do que a porca M10. Relativamente à dispersão dos dados, a porca M10 é a que apresenta dispersão maior, seguindo-se a porca nº3 M8. As porcas nº1 e nº2 M8 são as que apresentam menor dispersão. Verifica-se ainda, que nesta amostra foram obtidos valores abaixo do especificado, 10 kN, para as três porcas M8.

Identificou-se um *outlier* (nº 60) na porca nº1 M8. Os *outliers* são observações aberrantes que podem existir em amostras e classificam-se como severos ou moderados consoante o seu afastamento em relação às outras observações (Pestana e Gageiro, 2008). O *outlier* encontrado é considerado moderado, uma vez que se encontra situado entre 1,5 e 3 amplitudes inter-quartis para baixo do primeiro quartil. Assim, na tabela 2 estão representadas as estatísticas descritivas da amostra inicial relativas à porca nº1 M8 da referência 268, não considerando o *outlier*.

Tabela 2. Estatísticas descritivas - referência 268, porca nº1 M8 sem o *outlier*.

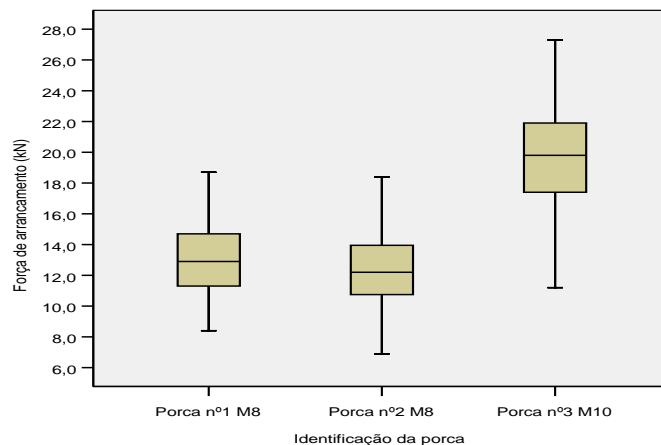
Referência - 268	n	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Porca nº1 M8	127	7,60	19,00	13,22	2,1807

Na tabela 3 apresentam-se as estatísticas descritivas para as porcas M8 e M10 relativas à referência 092.

Tabela 3. Estatísticas descritivas - amostra inicial da referência 092.

Referência - 092	n	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Porca nº1 M8	128	8,40	18,70	13,13	2,1697
Porca nº2 M8	128	6,90	18,40	12,37	2,2875
Porca nº 3 M10	126	11,20	27,30	19,49	3,3143

Gráfico 2. Diagrama tipo caixa - amostra inicial da referência 092.



Dos resultados da tabela 3 e do gráfico 2 verifica-se que as porcas M8 apresentam médias mais baixas do que a porca M10. Relativamente à dispersão dos dados, a porca M10 é a que apresenta uma dispersão maior quando comparada com as porcas M8. Na amostra da referência 092 também foram obtidos valores abaixo do especificado para as duas porcas M8, tal como ocorreu na referência 268. Após esta análise, verificou-se que em ambas as referências, as porcas M10 são as que apresentam médias mais elevadas e dispersão mais alta.

Devido às diferenças encontradas entre as porcas de cada referência é necessário verificar se as diferenças são estatisticamente significativas. Assim, recorreu-se, para as porcas M8 e M10 de cada referência, à análise de variância através da Anova. As hipóteses a testar são:

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$ (as médias da força de arrancamento dos grupos são iguais, ou seja, as médias são iguais para as quatro porcas, quando se trata da referência 268, ou três porcas quando se trata da referência 092).

$H_1: \exists (i, j) \mu_i \neq \mu_j, i \neq j$ (existe pelo menos uma porca com força média de arrancamento diferente).

A aplicação da Anova exige a verificação simultânea dos seguintes pressupostos: normalidade, as observações dentro de cada grupo têm distribuição normal (não é preocupante em amostras “grandes”); homogeneidade de variância, as variâncias de cada grupo são iguais (não é preocupante em amostras “equilibradas”) e independência, as observações são independentes entre si (Pestana e Gageiro, 2008).

Anova - referência 268

De forma a verificar os pressupostos acima referidos representa-se na tabela 4 o teste à normalidade das porcas M8 e M10 para a referência 268.

Tabela 4. Teste à normalidade - amostra inicial da referência 268.

Referência 268		Kolmogorov-Smirnov(a)		
Nº da Porca		Statistic	df	Sig.
Força de Arrancamento (kN)	Porca nº1 M8	0,072	127	0,174
	Porca nº2 M8	0,095	128	0,006
	Porca nº3 M8	0,056	128	0,200(*)
	Porca nº4 M10	0,083	128	0,031

* This is a lower bound of the true significance.
a Lilliefors Significance Correction

Como se pode verificar pela tabela 4 as porcas nº1 e nº3 M8 apresentam um valor de prova (“Sig.”) superior a 0,05, pelo que se pode concluir que a força de arrancamento destas porcas se poderá considerar com distribuição aproximadamente normal. A força de arrancamento das porcas nº2 M8 e nº4 M10 não apresenta uma distribuição normal, valor de prova (“Sig.”) inferior a 0,05. Contudo, a normalidade não é restritiva para a aplicação da Anova a um factor quando o número de elementos de cada grupo é relativamente elevado (Pestana e Gageiro, 2008). Como no caso da referência 268 o número de elementos é elevado, é possível a aplicação da Anova a um factor.

Na tabela 5 está representado o teste à homogeneidade de variâncias para a referência 268.

Tabela 5. Teste à homogeneidade de variâncias - amostra inicial da referência 268.

Força de Arrancamento (kN)			
Levene Statistic	df ₁	df ₂	Sig.
11,586	3	507	0,000

Pode-se concluir pela análise do teste Levene, representado na tabela 5, que não há homogeneidade de variâncias, já que o valor de prova (“Sig.”) é inferior a $\alpha = 0,05$.

Contudo, a violação da homogeneidade não impede o uso da Anova a um factor. O teste F é robusto a violações da homogeneidade quando o número de observações em cada grupo é igual ou aproximadamente igual (Pestana, 2008). Neste caso, como número de observações em cada grupo é igual ou aproximadamente igual, é possível a aplicação da Anova a um factor, tabela 6.

Tabela 6. Anova a um factor - amostra inicial da referência 268.

Força de Arrancamento (kN)	Sum of Squares (SQ)	df	Mean Square (QM)	F	Sig.
Between Groups	2142,346	3	714,115	102,299	0,000
Within Groups	3539,184	507	6,981		
Total	5681,531	510			

A tabela 6 apresenta a Anova a um factor com a Soma dos Quadrados (SQ) e os Quadrados Médios (QM) para “Entre os grupos” (Between Groups) e para “Dentro dos grupos” (Within Groups). Com uma probabilidade de erro de 5%, pode concluir-se que existe pelo menos uma porca em que a força de arrancamento é significativamente diferente, o valor de prova (“Sig”) é inferior a $\alpha = 0,05$, o que leva a rejeitar a H_0 em favor da H_1 .

A Anova apenas permite concluir que existe pelo menos uma média diferente, mas nada indica sobre qual ou quais das médias são diferentes. Esta questão é resolvida pela comparação múltipla de médias. De um modo geral, o teste de Tukey é um dos mais robustos a desvios à normalidade e homogeneidade das variâncias para amostras grandes (Maroco, 2007).

Na tabela 7 apresenta-se a comparação múltipla de médias. Na 3ª coluna encontra-se a diferença entre as médias (“Mean Difference”), na 4ª coluna encontra-se o erro padrão para a diferença (“Std. Error”) e finalmente na 5ª coluna encontra-se o valor de prova (“Sig.”). Esta tabela apresenta ainda o intervalo de confiança para a diferença entre as médias (“95% Confidence Interval”).

Tabela 7. Comparação múltipla de médias - amostra inicial da referência 268.

(I) Nº da Porca		(J) Nº da Porca	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	Porca nº1 M8	Porca nº2 M8	0,1353	0,3309	0,977	-0,718	0,988
		Porca nº3 M8	-0,4452	0,3309	0,534	-1,298	0,408
		Porca nº4 M10	-4,8030(*)	0,3309	0,000	-5,656	-3,950
	Porca nº2 M8	Porca nº1 M8	-0,1353	0,3309	0,977	-0,988	0,718
		Porca nº3 M8	-0,5805	0,3303	0,295	-1,432	0,271
		Porca nº4 M10	-4,9383(*)	0,3303	0,000	-5,790	-4,087
	Porca nº3 M8	Porca nº1 M8	0,4452	0,3309	0,534	-0,408	1,298
		Porca nº2 M8	0,5805	0,3303	0,295	-0,271	1,432
		Porca nº4 M10	-4,3578(*)	0,3303	0,000	-5,209	-3,507
	Porca nº4M10	Porca nº1 M8	4,8030(*)	0,3309	0,000	3,950	5,656
		Porca nº2 M8	4,9383(*)	0,3303	0,000	4,087	5,790
		Porca nº3 M8	4,3578(*)	0,3303	0,000	3,507	5,209

* The mean difference is significant at the 0,05 level.

Pela análise da tabela 7 conclui-se que força média de arrancamento relativa à porca nº4 M10 apresenta diferenças significativas, o valor de prova (Sig.) é inferior a $\alpha = 0,05$. O facto do intervalo de confiança a 95%, não conter o zero, também indica que não há igualdade das médias.

Anova - referência 092

Para aplicar a Anova à referência 092, foram, tal como na referência 268, verificados os pressupostos de normalidade e homogeneidade. A tabela 8 apresenta o teste à normalidade para a amostra inicial da referência 092.

Tabela 8. Teste à normalidade - amostra inicial da referência 092.

Referência 092		Kolmogorov-Smirnov(a)		
Nº da Porca		Statistic	df	Sig.
Força de Arrancamento (kN)	Porca nº1 M8	0,084	128	0,029
	Porca nº2 M8	0,054	128	0,200(*)
	Porca nº3 M10	0,069	126	0,200(*)

* This is a lower bound of the true significance.
a Lilliefors Significance Correction

Como se pode verificar pela análise da tabela 8 as porcas nº2 M8 e nº3 M10 apresentam um valor de prova ("Sig.") superior a 0,05, pelo que se pode concluir que a força de arrancamento destas porcas se poderá considerar com distribuição aproximadamente normal. A força de arrancamento da porca nº1 M8 não apresenta uma distribuição normal. Como na referência 092 o número de elementos é elevado é possível a aplicação da Anova a um factor.

A tabela 9 apresenta o teste à homogeneidade de variâncias para a referência 092.

Tabela 9. Teste à homogeneidade de variâncias - amostra inicial da referência 092.

Força de Arrancamento (kN)

Levene Statistic	df ₁	df ₂	Sig.
14,086	2	379	0,000

Pela análise do teste Levene representado na tabela 9 conclui-se que não há homogeneidade de variâncias, já que o valor de prova é inferior a $\alpha = 0,05$.

Também no caso da referência 092, os grupos apresentam dimensão semelhante, logo é possível a aplicação da Anova a um factor (ver tabela 10).

Tabela 10. Anova a um factor - amostra inicial da referência 092.

Força de Arrancamento (kN)	Sum of Squares (SQ)	df	Mean Square (QM)	F	Sig.
Between Groups	3872,848	2	1936,424	278,471	0,000
Within Groups	2635,479	379	6,954		
Total	6508,327	381			

Pela análise da tabela 10 pode concluir-se com uma probabilidade de erro de 5% que existe pelo menos uma porca em que a força de arrancamento é significativamente diferente, o valor de prova ("Sig") é inferior a $\alpha = 0,05$, o que leva a rejeitar a H_0 em favor da H_1 .

Na tabela 11 apresenta-se a comparação múltipla de médias, utilizando-se o teste de Tukey.

Tabela 11. Comparação múltipla de médias - amostra inicial da referência 092.

	(I) Nº da Porca	(J) Nº da Porca	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	Porca nº1 M8	Porca nº2 M8	0,7547	0,3296	0,058	-0,021	1,530
		Porca nº3 M10	-6,3631(*)	0,3309	0,000	-7,142	-5,584
	Porca nº2 M8	Porca nº1 M8	-0,7547	0,3296	0,058	-1,530	0,021
		Porca nº3 M10	-7,1178(*)	0,3309	0,000	-7,896	-6,339
	Porca nº3M10	Porca nº1 M8	6,3631(*)	0,3309	0,000	5,584	7,142
		Porca nº2 M8	7,1178(*)	0,3309	0,000	6,339	7,896

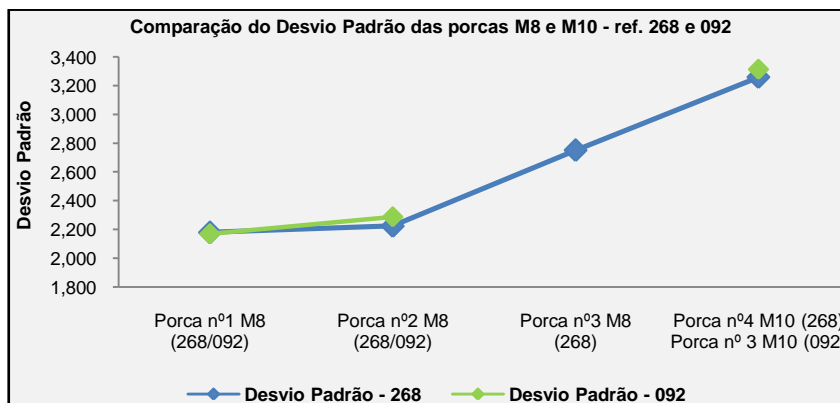
* The mean difference is significant at the 0,05 level.

Pela análise da tabela 11 conclui-se que força média de arrancamento relativa à porca nº3 M10 apresenta diferenças significativas, o valor de prova é inferior a $\alpha = 0,05$. O facto do intervalo de confiança a 95%, não conter o zero, também indica que não há igualdade das médias.

Após este estudo relativo à força de arrancamento das porcas M8 e M10 das referências 268 e 092, pode concluir-se para ambas as referências, que as médias da força de arrancamento das porcas M10 são as que apresentam diferenças significativas. As porcas M10 são diferentes das porcas M8 ao nível do tamanho da própria porca, bem como a dimensão das respectivas bossas, maiores nas porcas M10.

O gráfico 3 pretende comparar o desvio padrão dos valores de arrancamento para as porcas M8 e M10 de ambas as referências.

Gráfico 3. Desvio padrão das porcas M8 e M10 - amostras iniciais das referências 268/092.



Pela análise do gráfico 3 pode concluir-se que o desvio padrão apresenta valores mais elevados nas porcas nº3 M10 e nº4 M10 (de ambas as referências), seguidas da porca nº3 M8 da referência 268. As porcas nº1 e nº2 M8 de ambas as referências são as que apresentam desvio padrão inferior. Constatou-se a existência de uma variabilidade elevada da força de arrancamento e de alguns valores obtidos, nas porcas M8, inferiores ao valor de especificação, (10kN).

É de extrema importância detectar as diversas causas que estão na origem desta variabilidade elevada. No ponto que se segue, efectuou-se o apuramento efectivo das causas e o seu grau de importância.

4.5.7.2 Possíveis causas da variabilidade da força de arrancamento

Para apurar as diversas causas que estão na origem da variabilidade da força de arrancamento recorreu-se a uma das ferramentas da qualidade - Diagrama Causa-e-Efeito. Através deste Diagrama detectaram-se algumas das possíveis causas que provocam a variabilidade da força de arrancamento.

Para a identificação das causas do problema formou-se uma equipa de trabalho que procurou identificar o máximo de causas possíveis. Nesta fase utilizou-se a técnica - *Brainstorming*, em que todos os elementos apresentaram as suas ideias. Após a recolha das mesmas procedeu-se a uma selecção e de seguida efectuou-se um agrupamento das ideias por prioridades. Esta fase é muito importante na compreensão do problema e o levantamento efectuado neste momento será o ponto de partida para a resolução do mesmo.

Na figura 21 apresenta-se o diagrama Causa-e-Efeito relativo ao problema em questão. Na linha horizontal centrada, à direita do Diagrama, descreve-se o **problema** - variabilidade da força de arrancamento. As **causas gerais** identificadas são representadas pelas setas oblíquas que convergem para o eixo horizontal do Diagrama. Consideraram-se seis categorias de causas gerais: Mão-de-obra, Método, Máquinas, Materiais, Medições e Meio Ambiente. As **causas de nível 1**, que afectam directamente a respectiva causa geral, são representadas por setas horizontais ligadas às setas oblíquas das causas gerais. As **causas de nível 2** são representadas por setas oblíquas apontadas para a seta horizontal da causa de nível 1.

Após a identificação das causas e concluído o Diagrama seleccionaram-se as causas com maior probabilidade de estarem na origem do problema, assinaladas com um círculo (ver figura 21).

De seguida, definiram-se e implementaram-se acções correctivas e por fim, avaliou-se a eficácia das acções implementadas.

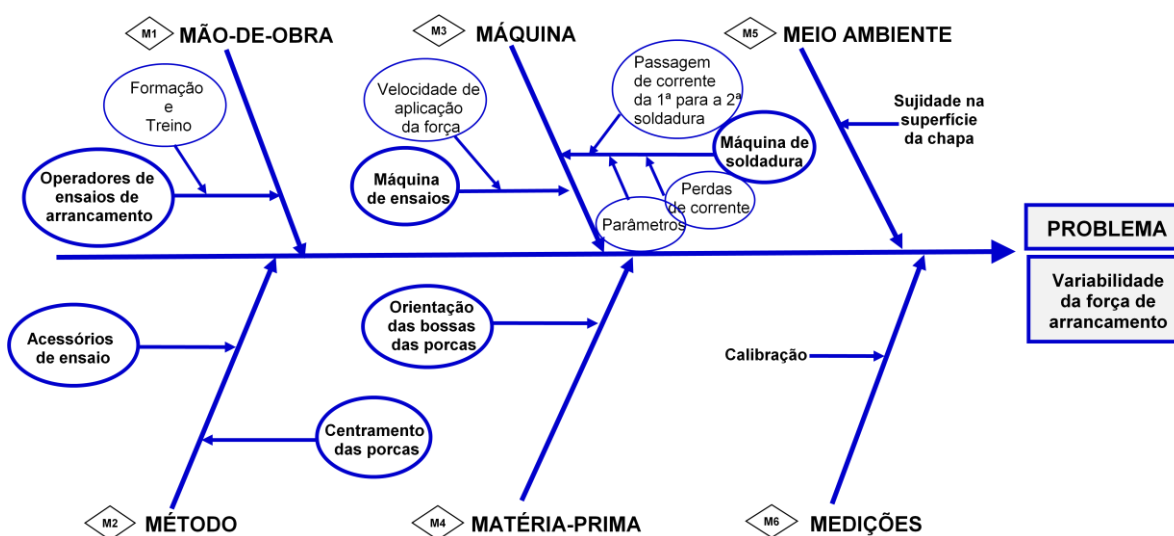


Figura 21. Diagrama de Causa-e-Efeito - variabilidade da força de arrancamento.

4.5.7.3 Definição, implementação e avaliação da eficácia das acções correctivas

Para que seja perceptível a influência das causas na variabilidade da força de arrancamento descrevem-se, de seguida, as causas que estão associadas a cada categoria e definem-se as acções correctivas tomadas como resposta a cada causa. No final de cada acção é efectuada a respectiva avaliação da eficácia.

a) Causa Geral ► Mão-de-obra

O estado físico e emocional das pessoas pode contribuir, positiva ou negativamente, para a variação de produtos e processos. Outro aspecto importante a salientar é o nível dos conhecimentos necessários para o desempenho de determinada actividade.

Causa nível 1 ► Operadores de ensaios de arrancamento

Causa nível 2 ► Formação/Treino

A Formação e o Treino têm aqui um papel relevante. Muitas vezes as expectativas de melhorias, aquando da introdução de novos métodos de trabalho e/ou de novas técnicas e tecnologias, não se verificam devido à falta de Formação/Treino adequada do pessoal.

Acção correctiva implementada

Foi ministrada formação/treino aos operadores de ensaios de arrancamento e respectivas chefias. A formação incidiu nos seguintes aspectos: como efectuar correctamente um ensaio de arrancamento; como utilizar correctamente os acessórios de ensaio; como garantir o centramento das porcas durante a realização dos ensaios e como efectuar os registos relativos aos ensaios de arrancamento. Numa fase inicial, os operadores tiveram o acompanhamento necessário de forma a colocar em prática os conteúdos referidos anteriormente. Sempre que possível foram colocadas ajudas visuais para facilitar o trabalho. Toda a formação ficou a cargo da autora.

b) Causa Geral ► Método

Alguns erros habitualmente cometidos nesta área referem-se à deficiente definição de cada operação, operações não mencionadas e métodos desajustados às necessidades.

Causa nível 1 ► Centramento das porcas

Na execução dos ensaios de arrancamento verificou-se que o centramento das porcas nos respectivos acessórios nem sempre era garantido. Este facto pode levar a que a força exercida não seja aplicada de igual forma pelas diferentes bossas da porca, podendo assim influenciar a força de arrancamento.

Acção correctiva implementada

Para que o centramento das porcas fosse garantido foi efectuada um furo nos acessórios inferiores. Desta forma, quando se coloca o parafuso para dar início ao ensaio de arrancamento este deve ser enroscado na porca até que entre no furo do acessório levando obrigatoriamente ao

centramento da porca. A figura 22 a) representa o resultado de um ensaio de arrancamento a uma porca não centrada e a figura 22 b) representa resultado de um ensaio de arrancamento a uma porca centrada.

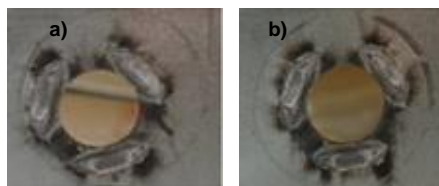


Figura 22. Ensaio de arrancamento a uma porca centrada e não centrada.

Nas acções que se seguem recorre-se a várias comparações de valores da força de arrancamento, quer ao nível da variabilidade quer ao nível das médias, utilizando essencialmente testes t, testes à normalidade, à homogeneidade de variâncias, Anova a um factor e comparação múltipla de médias. Nos testes que se seguem, o procedimento utilizado será o mesmo procedimento adoptado nos testes realizados anteriormente.

c) Causa Geral ► Matéria-prima


Causa nível 1 ► Orientação das bossas (protuberâncias) das porcas


O lançamento das porcas até à peça, para de seguida serem soldadas, é efectuado de forma automática pela lançadeira, sendo que a orientação das bossas das porcas é aleatória. O facto de as protuberâncias estarem orientadas de uma forma ou de outra pode influenciar a força de arrancamento e consequentemente a variabilidade.

Acção correctiva implementada

Soldaram-se 20 peças da referência 092 em que colocação das porcas na peça foi efectuada manualmente, de forma a orientar as protuberâncias das porcas nº1 e nº2 M8. Dividiram-se as 20 peças em dois conjuntos de 10 e em cada conjunto foi adoptada uma determinada orientação das protuberâncias. A orientação 1 apresenta uma bossa orientada para a zona onde dobra a aba da peça e duas bossas para a periferia da aba. A orientação 2 apresenta duas bossas orientadas para a zona onde dobra a aba e uma bossa para a periferia da aba. Efectuaram-se os ensaios de arrancamento de forma a avaliar a eficácia da acção implementada. Posteriormente procedeu-se à comparação da força de arrancamento para as duas orientações escolhidas. Na tabela 12 apresentam-se as estatísticas descritivas relativas aos resultados obtidos.

Tabela 12. Estatísticas descritivas - orientação das protuberâncias, referência 092.

Orientação das protuberâncias das porcas	Ref. 092 - nº da porca	n	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
 Orientação 1	Porca nº1 M8 - 092	10	11,20	17,30	14,81	1,7246
	Porca nº2 M8 - 092	10	10,00	16,90	13,28	2,2837

Orientação das protuberâncias das porcas	Ref. 092 - nº da porca	n	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
 Orientação 2	Porca nº1 M8 - 092	10	11,40	18,10	14,85	2,4460
	Porca nº2 M8 - 092	10	11,10	16,40	13,38	1,6281

Dos resultados da tabela 12 verificou-se que para as duas orientações o valor médio da força de arrancamento para a porca nº1 é ligeiramente superior ao valor médio da força de arrancamento da porca nº2. O desvio padrão da porca nº1 na orientação 1 é inferior ao desvio padrão da porca nº1 na orientação 2, mas o mesmo já não se passa relativamente à porca nº2, o desvio padrão da porca nº2 na orientação 1 é superior ao desvio padrão da porca nº2 na orientação 2.

Estes dados parecem ser inconclusivos quanto à influência da orientação das protuberâncias na variabilidade e nos valores da força de arrancamento. Assim, de forma a verificar se existem diferenças significativas entre as médias e o desvio padrão da força de arrancamento das porcas com orientação 1 e entre as médias e desvio padrão da força de arrancamento das porcas com orientação 2, recorreu-se a um teste t, (ver tabela 14). Na tabela 13 apresenta-se o teste à normalidade para as duas orientações.

Tabela 13. Teste à normalidade - orientação das protuberâncias.

Orientação		Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Porca nº1 M8	1	0,151	10	0,200(*)	0,943	10	0,588
	2	0,165	10	0,200(*)	0,920	10	0,358
Porca nº2 M8	1	0,159	10	0,200(*)	0,950	10	0,669
	2	0,162	10	0,200(*)	0,957	10	0,748

* This is a lower bound of the true significance.
a. Lilliefors Significance Correction

Como se pode verificar pela tabela 13 a força de arrancamento das porcas nº1 e nº2 M8, com orientação 1 e 2 das protuberâncias, apresenta uma distribuição aproximadamente normal.

Tabela 14. Independent Samples Test - orientação das protuberâncias.

Porcas M8		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
nº1	Equal variances assumed	1,435	0,247	-0,031	18	0,976	-0,0300	0,9675	-2,0626	2,0026
nº2	Equal variances assumed	0,638	0,435	-0,134	18	0,895	-0,1200	0,8948	-1,9999	1,7599

Pela análise da tabela 14 conclui-se que há homogeneidade de variâncias para as porcas nº1 e nº2 M8 e que as médias da força de arrancamento da porca nº1 (orientação 1) e da porca nº2

(orientação 1) não são significativamente diferentes das médias da porca nº1 (orientação 2) e da porca nº2 (orientação 2), respectivamente.

Pode-se concluir que a orientação das protuberâncias das porcas não influencia a variabilidade nem a força de arrancamento. Foram testadas outras acções que se descrevem seguidamente.

d) Causa Geral ► Método

Causa nível 1 ► Acessórios de ensaio de arrancamento

Segundo a norma do cliente, a força de arrancamento é influenciada pelo diâmetro da matriz inferior, acessório de ensaio inferior, onde se realiza o teste (Norma C21 4210, 2005). O diâmetro da matriz deve ser adequado ao tipo de componente. Apesar das referências 092 e 268 possuírem dois tipos de componentes, porcas M8 e porcas M10, os acessórios utilizados têm exactamente o mesmo diâmetro, 25 mm. A única excepção é a porca M8 nº3 da referência 268, em que é utilizado um acessório com um diâmetro inferior ao usado para as restantes porcas M8.

Acção correctiva implementada

Para que o diâmetro da matriz inferior respeitasse a norma C21 4210 desenvolveram-se novos acessórios de teste. Implementou-se, ainda, o procedimento de especificar o diâmetro da matriz de ensaio na gama de fabrico e controlo para as peças novas.

A tabela 15 apresenta a comparação dos diâmetros antigos com os diâmetros novos.

Tabela 15. Diâmetros dos acessórios antigos e dos acessórios novos.

Referências 268/092	1 - M8	2 - M8	3 - M8 (268)	3 - M10 (092) / 4 - M10 (268)
Diâmetro da matriz dos acessórios antigos	25 mm	25 mm	19,7 mm	25 mm
Diâmetro da matriz dos acessórios novos	23 mm	23 mm	23 mm	28 mm
Aumento/Diminuição do diâmetro	Diminuição	Diminuição	Aumento	Aumento

Verifica-se que para as porcas nº1 e nº2 o diâmetro dos acessórios novos é inferior ao diâmetro dos acessórios antigos, enquanto que para as porcas nº3 e nº4 o diâmetro dos acessórios novos é superior ao diâmetro dos acessórios antigos. De forma a avaliar a eficácia da acção implementada realizaram-se 20 ensaios de arrancamento para a referência 268, 10 peças foram testadas com os acessórios antigos e 10 peças foram testadas com os acessórios novos. Na tabela 16 apresentam-se os resultados obtidos.

Tabela 16. Estatísticas descritivas - acessórios antigos e acessórios novos (referência 268).

Referência - 268	Acessório	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Porca nº 1 M8	Antigo	9,10	16,00	12,73	2,2005
	Novo	8,60	18,10	13,45	3,0845
Porca nº2 M8	Antigo	10,50	17,40	15,18	2,2434
	Novo	14,00	19,00	16,98	1,7675
Porca nº3 M8	Antigo	14,50	19,30	17,10	1,5434
	Novo	12,00	17,40	14,59	1,5044
Porca nº4 M10	Antigo	13,10	16,40	14,51	1,1210
	Novo	10,30	16,90	13,28	1,7041

No gráfico 4 comparam-se as médias obtidas nos ensaios de arrancamento com utilização dos acessórios antigos, com as médias obtidas nos ensaios de arrancamento com utilização dos acessórios novos. No gráfico 5 compara-se o desvio padrão dos resultados obtidos nos ensaios utilizando acessórios antigos e acessórios novos.

Gráfico 4. Médias obtidas nos ensaios de arrancamento - acessórios antigos e novos.

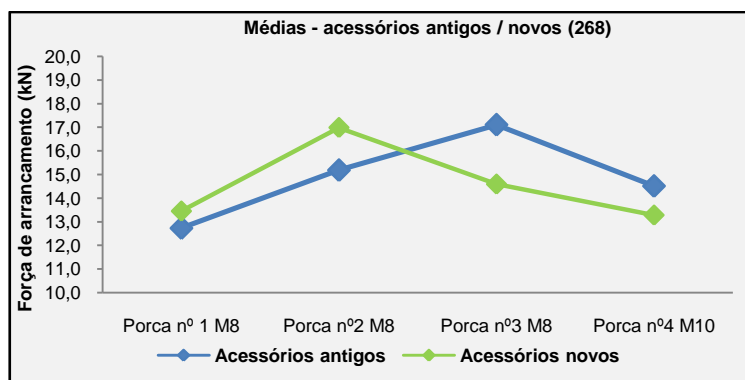
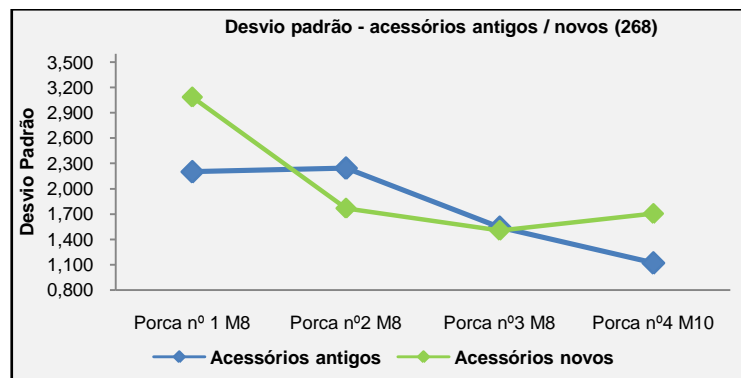


Gráfico 5. Desvio padrão obtido nos ensaios de arrancamento - acessórios antigos e novos.



Da análise da tabela 16 e dos gráficos 4 e 5 pode concluir-se que as porcas nº1 M8 e nº2 M8 são as que tendem a ter valores médios de arrancamento mais elevados com a utilização dos acessórios novos. Constatou-se que alguns dos valores obtidos para as porcas M8 são inferiores ao valor de especificação, (10kN).

A força de arrancamento das porcas nº1 M8 e nº2 M8 apresentam em média valores superiores quando utilizados os novos acessórios, o diâmetro dos acessórios novos diminuiu. Para a porca nº3 M8 o diâmetro do acessório novo é superior ao diâmetro do acessório antigo, o que levou à diminuição dos valores da força de arrancamento. Quanto à porca nº4 M10 houve um ajustamento do diâmetro, o diâmetro do acessório novo é superior ao diâmetro do antigo, verificando-se assim uma diminuição dos valores da força de arrancamento. Ao que parece, quanto maior for o diâmetro do acessório utilizado menor é o valor da força de arrancamento.

Pela análise dos resultados obtidos, a rectificação do diâmetro dos acessórios inferiores provocou diferenças na variação e nos valores da força de arrancamento. De forma a verificar se existem diferenças significativas entre os resultados obtidos com ambos os acessórios, recorreu-se ao

teste t, (ver tabela 18). Na tabela 17 é apresentado o teste à normalidade, quer dos valores obtidos com os acessórios antigos quer dos valores obtidos com os acessórios novos.

Tabela 17. Teste à normalidade - acessórios antigos e acessórios novos.

Acessório		Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Porca M8 nº1	Antigo	0,167	10	0,200(*)	0,960	10	0,786
	Novo	0,219	10	0,1890	0,936	10	0,508
Porca M8 nº2	Antigo	0,178	10	0,200(*)	0,885	10	0,148
	Novo	0,155	10	0,200(*)	0,924	10	0,392
Porca M8 nº3	Antigo	0,120	10	0,200(*)	0,973	10	0,919
	Novo	0,151	10	0,200(*)	0,979	10	0,957
Porca M10 nº4	Antigo	0,175	10	0,200(*)	0,939	10	0,547
	Novo	0,195	10	0,200(*)	0,940	10	0,548

* This is a lower bound of the true significance.
a. Lilliefors Significance Correction

Pela análise da tabela 17 pode concluir-se que a força de arrancamento de todas as porcas, quer utilizando acessórios antigos quer utilizando acessórios novos, apresenta uma distribuição aproximadamente normal. Através do teste de Shapiro-Wilk também se verifica que em todas as situações a força de arrancamento, das diferentes porcas, apresenta uma distribuição aproximadamente normal.

A tabela 18 apresenta o teste t, que permite comparar as médias da força de arrancamento obtidas com os acessórios antigos e com os acessórios novos.

Tabela 18. Independent Samples Test - acessórios antigos e acessórios novos.

Porca		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
M8 nº1	Equal variances assumed	0,499	0,489	-0,601	18	0,555	-0,7200	1,1982	-3,2373	1,7973
M8 nº2	Equal variances assumed	0,354	0,560	-1,993	18	0,062	-1,8000	0,9032	-3,6975	0,0975
M8 nº3	Equal variances assumed	0,080	0,781	3,683	18	0,002	2,5100	0,6816	1,0781	3,9419
M10 nº4	Equal variances assumed	0,254	0,621	1,907	18	0,073	1,2300	0,6450	-0,1251	2,5851

Pode concluir-se que há homogeneidade de variâncias para todas as porcas, quer se utilize os acessórios antigos quer se utilize os acessórios novos. Para a porca nº3 M8 existem diferenças significativas entre a média da força de arrancamento obtida com o acessório antigo e a média da força de arrancamento obtida com o acessório novo. Neste caso, com a utilização do acessório novo, a força de arrancamento diminuiu. Para as restantes porcas conclui-se que não existem diferenças significativas entre as médias da força de arrancamento obtidas com os acessórios antigos e as médias da força de arrancamento obtidas com os acessórios novos.

Ao contrário do esperado, mesmo com a alteração dos acessórios, não se verificaram diferenças significativas ao nível da dispersão nem ao nível da força de arrancamento (excepto para a porca nº3 M8). Segue-se assim para implementação da acção correctiva seguinte.

e) Causa Geral ► Máquina

Esta fonte de variação inclui desgaste de ferramentas, vibrações de máquinas, ajustamentos nos equipamentos, flutuações na tensão eléctrica, entre outros.

Causa nível 1 ► Máquina de soldadura

Causa nível 2 ► Passagem de corrente da 1ª para a 2ª soldadura

Uma das causas detectadas para a variabilidade da força de arrancamento está relacionada com passagem de corrente da 1ª soldadura (porca nº1 M8) para a segunda soldadura (porca nº2 M8), podendo levar a diferenças nos valores da força de arrancamento e a uma dispersão elevada.

Acção correctiva implementada

Procedeu-se ao isolamento das soldaduras, separando as massas da prensa 1, onde são soldadas as porcas nº1 e nº2 M8. Passou-se a ter dois transformadores, um para cada cilindro, em vez de um transformador para ambos os cilindros.

De forma a avaliar a eficácia da acção implementada realizaram-se ensaios de arrancamento a 20 peças seguidas da referência 268 e a 20 peças seguidas da referência 092. Aplicou-se apenas às porcas nº1 e nº2 M8. Na tabela 19 apresentam-se as estatísticas descritivas dos resultados obtidos.

Tabela 19. Estatísticas descritivas - separação das massas da prensa 1.

	n	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Porca nº1 M8 - 092	20	9,70	17,10	13,33	2,0295
Porca nº2 M8 - 092	20	11,40	16,90	13,79	1,5510
Porca nº1 M8 - 268	20	13,50	17,40	15,06	1,0008
Porca nº2 M8- 268	20	12,40	17,50	14,52	1,3085

Verificou-se para a referência 092 que a porca nº1 apresenta em média valores de arrancamento inferiores aos valores de arrancamento da porca nº2 e a dispersão é inferior na porca nº2. Para a referência 268, a porca nº1 apresenta uma média da força de arrancamento superior à porca nº2 e apresenta uma menor dispersão em ambas as porcas quando comparadas com as porcas da referência 092.

De forma a avaliar a eficácia da acção implementada procedeu-se à comparação das estatísticas descritivas dos resultados obtidos após a separação das massas da prensa 1 com os valores obtidos antes da separação das massas da prensa 1, (ver tabela 20). Através do teste t, (ver tabela 22), verificou-se se existem diferenças significativas entre os resultados da força de arrancamento das porcas nº1 e nº2 M8 das referências 092 e 268, antes e depois da separação das massas.

Tabela 20. Estatísticas descritivas - antes e depois da separação das massas da prensa 1.

Antes e depois da separação das massas da prensa 1		n	Média	Desvio Padrão
Porca nº1 M8 - 092	antes	128	13,13	2,1697
	depois	20	13,33	2,0295
Porca nº2 M8 - 092	antes	128	12,37	2,2875
	depois	20	13,79	1,5510
Porca nº1 M8 - 268	antes	127	13,22	2,1807
	depois	20	15,06	1,0008
Porca nº2 M8 - 268	antes	128	13,08	2,2253
	depois	20	14,52	1,3085

Pela análise da tabela 20 verifica-se, após a separação das massas da prensa 1, uma diminuição da variabilidade e um aumento da força de arrancamento, em todas as porcas de ambas as referências. Na tabela 21 apresenta-se o teste à normalidade para os resultados obtidos antes e depois da separação das massas da prensa 1 e na tabela 22 está representado o teste t.

Tabela 21. Teste à normalidade - antes e depois da separação das massas da prensa 1.

Antes e depois da separação das massas da prensa 1		Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Porca nº1 M8 - 092	antes	0,084	128	0,029	0,974	20	0,832
	depois	0,129	20	0,200(*)			
Porca nº2 M8 - 092	antes	0,054	128	0,200(*)	0,962	20	0,575
	depois	0,130	20	0,200(*)			
Porca nº1 M8 - 268	antes	0,072	127	0,174	0,955	20	0,445
	depois	0,112	20	0,200(*)			
Porca nº2 M8 - 268	antes	0,095	128	0,006	0,972	20	0,788
	depois	0,126	20	0,200(*)			

* This is a lower bound of the true significance.
a. Lilliefors Significance Correction

A força de arrancamento da porca nº1 da referência 092 e da porca nº2 da referência 268, antes da acção correctiva, não apresenta uma distribuição normal. Nas restantes porcas a força de arrancamento apresenta uma distribuição aproximadamente normal.

Tabela 22. Independent Samples Test - antes e depois da separação das massas.

Porcas M8		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
nº1 092	Equal variances assumed	0,144	0,705	-0,396	146	0,693	-0,2050	0,5174	-1,2276	0,8176
nº2 092	Equal variances assumed	2,956	0,088	-2,668	146	0,009	-1,41469	0,53032	-2,4628	-0,3666
nº1 268	Equal variances not assumed	10,124	0,002	-6,220	53,52	0,000	-1,8400	0,2958	-2,4333	-1,2468
nº2 268	Equal variances not assumed	11,095	0,001	-4,085	38,86	0,000	-1,4403	0,3526	-2,1535	-0,7271

Pode concluir-se que há homogeneidade de variâncias para as porcas nº1 e nº2 M8 da referência 092 e que as médias da força de arrancamento para a porca nº2 são estatisticamente diferentes, mais elevada depois da separação das massas. As porcas da referência 268 não apresentam homogeneidade de variâncias e as médias da força de arrancamento apresentam diferenças significativas, mais elevadas após a acção correctiva.

Comparando as amostras de 20 elementos de ambas as referências, recolhidas após a implementação da acção, com a amostra inicialmente em estudo pode concluir-se que a acção implementada teve efeitos positivos na dispersão. Esta diminuiu significativamente nas porcas nº1 M8 e nº2 M8 da referência 268. Os valores da força de arrancamento aumentaram significativamente, excepto na porca nº1 M8 da referência 092. Contudo, peças produzidas após esta acção apresentaram uma não conformidade, existência de salpicos de solda nas porcas. Quer isto dizer que apesar da variabilidade ter diminuído e em média os valores de arrancamento terem aumentado verificou-se outro tipo de problema.

Assim, de maneira a obter um compromisso entre uma boa soldadura com variabilidade baixa da força de arrancamento e a inexistência de salpicos foi implementada a acção que segue.

f) Causa Geral ► Máquina

Causa nível 1 ► Máquina de soldadura

Causa nível 2 ► Parâmetros

Os parâmetros de soldadura tempo de soldadura, intensidade da corrente e força de aperto, têm grande influência nos valores da força de arrancamento obtidos.

Acção correctiva implementada

De forma a chegar a um compromisso entre a inexistência de salpicos de solda e uma boa soldadura com variabilidade baixa na força de arrancamento aumentou-se a pressão de soldadura permitindo a redução da intensidade da mesma, reduzindo desta forma o risco de salpicos.

De forma a avaliar a eficácia da acção implementada realizaram-se ensaios de arrancamento a 10 peças seguidas da referência 268 e a 10 peças seguidas da referência 092. Na tabela 23 são apresentadas as estatísticas descritivas dos resultados obtidos, bem como a comparação das estatísticas descritivas das amostras obtidas antes e depois da alteração de parâmetros.

Tabela 23. Estatísticas descritivas - antes e depois da 1ª alteração de parâmetros.

Antes e depois da 1ª alteração de parâmetros		n	Média	Desvio Padrão
Porca nº 1 M8 - 092	antes da alteração de parâmetros	20	15,16	1,4214
	depois da alteração de parâmetros	10	14,83	1,4276
Porca nº 2 M8 - 092	antes da alteração de parâmetros	20	13,79	1,5510
	depois da alteração de parâmetros	10	13,29	1,1921
Porca nº 1 M8 - 268	antes da alteração de parâmetros	20	15,06	1,0008
	depois da alteração de parâmetros	10	13,12	1,8896
Porca nº 2 M8 - 268	antes da alteração de parâmetros	20	14,52	1,3085
	depois da alteração de parâmetros	10	15,12	1,7223

Pela análise da tabela 23 verificou-se um aumento da dispersão da força de arrancamento, excepto para a porca nº2 M8 da referência 092. Quanto às médias da força de arrancamento verificou-se uma diminuição, excepto para a porca nº2 da referência 268.

Através de um teste t comparam-se os valores obtidos, antes e depois da acção implementada, de forma a verificar se as diferenças de dispersão e diferenças de médias obtidas são significativas. Na tabela 24 está representado o teste à normalidade e na tabela 25 o teste t.

Tabela 24. Teste à normalidade - antes e depois da 1ª alteração de parâmetros.

Antes e depois da 1ª alteração de parâmetros		Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Porca nº 1 M8 - 092	antes da 1ª alteração de parâmetros	0,126	20	0,200(*)	0,970	20	0,758
	depois da 1ª alteração de parâmetros	0,243	10	0,098	0,843	10	0,048
Porca nº 2 M8 - 092	antes da 1ª alteração de parâmetros	0,130	20	0,200(*)	0,962	20	0,575
	depois da 1ª alteração de parâmetros	0,128	10	0,200(*)	0,984	10	0,981
Porca nº 1 M8 - 268	antes da 1ª alteração de parâmetros	0,112	20	0,200(*)	0,955	20	0,445
	depois da 1ª alteração de parâmetros	0,168	10	0,200(*)	0,933	10	0,479
Porca nº 2 M8 - 268	antes da 1ª alteração de parâmetros	0,126	20	0,200(*)	0,972	20	0,788
	depois da 1ª alteração de parâmetros	0,158	10	0,200(*)	0,975	10	0,933

* This is a lower bound of the true significance.
a. Lilliefors Significance Correction

Conclui-se que a força de arrancamento para as porcas nº1 e nº2 M8 de ambas as referências, antes e depois da 1ª alteração dos parâmetros, apresenta uma distribuição aproximadamente normal. Através do teste de Shapiro-Wilk, verifica-se para a porca nº1 M8 da referência 092, depois da 1ª alteração de parâmetros, que a força de arrancamento desta porca não apresenta distribuição normal. A nível exploratório aplicou-se o teste t, (ver tabela 25), mesmo quando o teste de Shapiro-Wilk considera que a força de arrancamento não apresenta distribuição normal.

Tabela 25. Independent Samples Test - antes e depois da 1ª alteração de parâmetros.

Porcas M8		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
nº1 092	Equal variances assumed	0,248	0,622	0,599	28	0,554	0,33000	0,55128	-0,79924	1,45924
nº2 092	Equal variances assumed	1,153	0,292	0,884	28	0,384	0,49500	0,55979	-0,65168	1,64168
nº1 268	Equal variances not assumed	8,633	0,007	3,033	11,59	0,011	1,93500	0,63808	0,53932	3,33068
nº2 268	Equal variances assumed	0,352	0,558	-1,065	28	0,296	-0,60000	0,56329	-1,75384	0,55384

Pela análise da tabela 25 verifica-se que as variâncias da porca nº1 M8 da referência 268 não são homogêneas e as médias da força de arrancamento são significativamente diferentes. Para as porcas nº1 e nº2 da referência 092 e nº2 da referência 268 as variâncias são homogêneas e não existem diferenças significativas entre as médias da força de arrancamento.

Pela análise efectuada verificou-se que a alteração de parâmetros não alterou significativamente os valores da força de arrancamento nem a dispersão das porcas M8, excepto para a porca nº1 da referência 268 que não apresenta homogeneidade de variâncias e as médias, antes e depois da alteração de parâmetros, são significativamente diferentes. Contudo, após esta intervenção continuou-se a encontrar algumas porcas com salpicos de solda. Este facto obrigou a que todas as peças produzidas tivessem que ser escolhidas. Na acção seguinte passou-se para uma segunda alteração dos parâmetros de soldadura das porcas nº1 e nº2 M8. Aumentou-se o tempo de soldadura e diminuiu-se a intensidade da corrente.

De forma a avaliar a eficácia da acção implementada realizaram-se ensaios a 18 peças da referência 092 e a 15 peças da referência 268. Na tabela 26 comparam-se as estatísticas descritivas da 1ª com as da 2ª alteração de parâmetros.

Tabela 26. Estatísticas descritivas - comparação entre a 1ª e a 2ª alteração de parâmetros.

1ª/2ª Alteração de parâmetros		n	Média	Desvio Padrão
Porca nº1 M8 - 268	1ª alteração	10	13,12	1,8896
	2ª alteração	15	14,35	2,5765
Porca nº2 M8 - 268	1ª alteração	10	15,12	1,7223
	2ª alteração	15	13,89	1,2053
Porca nº1 M8 - 092	1ª alteração	10	14,83	1,4276
	2ª alteração	18	14,23	2,9943
Porca nº2 M8 - 092	1ª alteração	10	13,29	1,1921
	2ª alteração	18	14,19	2,3517

Pela análise da tabela 26 verificou-se, da 1ª para a 2ª alteração de parâmetros, um aumento da dispersão, excepto para a porca nº2 da referência 268. Quanto às médias houve uma diminuição da média da força de arrancamento das porcas nº2 da referência 268 e da porca nº1 da referência 092 e um aumento nas porcas nº1 da referência 268 e na nº2 da referência 092.

Através de um teste t (ver tabela 28) comparam-se os valores obtidos antes e depois da acção implementada. A tabela 27 apresenta o teste à normalidade.

Tabela 27. Teste à normalidade - comparação entre a 1ª e a 2ª alteração de parâmetros.

1ª/2ª alteração de parâmetros		Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Porca nº1 M8 - 268	1ª alteração	0,168	10	0,200(*)	0,933	10	0,479
	2ª alteração	0,126	15	0,200(*)	0,945	15	0,445
Porca nº2 M8 - 268	1ª alteração	0,158	10	0,200(*)	0,975	10	0,933
	2ª alteração	0,170	15	0,200(*)	0,920	15	0,193
Porca nº1 M8 - 092	1ª alteração	0,243	10	0,098	0,843	10	0,048
	2ª alteração	0,101	18	0,200(*)	0,958	18	0,562
Porca nº2 M8 - 092	1ª alteração	0,128	10	0,200(*)	0,984	10	0,981
	2ª alteração	0,208	18	0,038	0,901	18	0,060

* This is a lower bound of the true significance.
a. Lilliefors Significance Correction

Apenas a força de arrancamento da porca nº2 da referência 092, 2ª alteração, não apresenta distribuição normal.

Tabela 28. Independent Samples Test - 1ª e 2ª alteração de parâmetros.

Porca M8		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
nº1 268	Equal variances assumed	1,236	0,278	-1,296	23	0,208	-1,23333	0,95201	-3,20272	0,73606
nº2 268	Equal variances assumed	0,755	0,394	2,113	23	0,046	1,23333	0,58380	0,02565	2,44101
nº1 092	Equal variances not assumed	4,637	0,041	0,712	25,65	0,483	0,59667	0,83779	-1,12659	2,31992
nº2 092	Equal variances assumed	1,712	0,202	-1,124	26	0,271	-0,89889	0,79938	-2,54205	0,74427

A força de arrancamento da porca nº1 da referência 092 não apresenta homogeneidade de variâncias. As restantes porcas apresentam variâncias homogêneas. A porca nº2 da referência 268 apresenta diferenças significativas quanto às médias da força de arrancamento, da 1ª para a 2ª alteração de parâmetros. As restantes porcas das referências 268 e 092 não apresentam diferenças significativas quanto às médias da força de arrancamento.

Pela análise efectuada verificou-se que a 2ª alteração de parâmetros aumentou significativamente a dispersão da porca nº1 da referência 092 e diminuiu significativamente a média da força de arrancamento da porca nº2 da referência 268. O problema da existência dos salpicos foi resolvido, no entanto, voltou-se novamente para uma situação de elevada variabilidade de algumas porcas. De seguida descreve-se a acção implementada.

g) Causa Geral ► Máquina

Causa nível 1 ► Máquina de soldadura

Causa nível 2 ► Perdas de corrente

Verificou-se que as peças ao serem colocadas na prensa 1 podem entrar em contacto com o porta-eléctrodos e levar a perdas de corrente. Esta situação dá-se quando o porta-eléctrodos ao, descer, provoca um ligeiro movimento da peça e esta encosta ao equipamento, permitindo a passagem de corrente entre as peças e o porta-eléctrodos. Após análise no terreno identificou-se o ponto do porta-eléctrodos que apresenta evidências de contacto (ver figura 23).



Figura 23. Ponto de passagem de corrente entre peças e o porta-eléctrodos da prensa 1.

Ação correctiva implementada

De forma a avaliar eventuais perdas de corrente cortaram-se 10+10 provetes de chapa da peça com a referência 092, (somente a zona plana), e soldaram-se as porcas. Estas 10 soldaduras foram intercaladas com a soldadura de 10 peças completas. Na tabela 29 apresentam-se as estatísticas descritivas dos resultados com a utilização dos provetes.

Tabela 29. Estatísticas descritivas - provetes e peças intercaladas da referência 092.

Provetes	n	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Porca nº 1 M8 - 092	10	14,30	18,10	16,25	1,1797
Porca nº 2 M8 - 092	10	13,50	16,90	15,19	1,2106
Peça Intercalada	n	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Porca nº 1 M8 - 092	10	11,10	15,70	14,05	1,4509
Porca nº 2 M8 - 092	10	11,20	16,20	13,29	1,9336

Pela análise da tabela 29 verificou-se a existência de uma diferença nos resultados obtidos entre os provetes e as peças intercaladas. Detectou-se uma menor dispersão nas soldaduras realizadas com os provetes, bem como um aumento da força de arrancamento. Desta forma, parece confirmada a existência de perdas de corrente. Através do teste t (ver tabela 31), verificou-se se a diferença de valores encontrados entre os provetes e a peça intercalada são estatisticamente significativas. A tabela 30 apresenta o teste à normalidade.

Tabela 30. Teste à normalidade - provetes e peças intercaladas da referência 092.

		Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Porca nº1 M8 - 092	proвете	0,117	10	0,200(*)	0,981	10	0,968
	peça intercalada	0,232	10	0,137	0,884	10	0,145
Porca nº2 M8 - 092	proвете	0,157	10	0,200(*)	0,938	10	0,534
	peça intercalada	0,280	10	0,025	0,835	10	0,038

* This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Para a porca nº2 da referência 092, peça intercalada, pode-se concluir que a força de arrancamento não apresenta uma distribuição normal. Estes resultados são confirmados pelo teste Shapiro-Wilk.

Tabela 31. Independent Samples Test - provetes e peças intercaladas da referência 092.

Porca M8		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
nº1	Equal variances assumed	0,035	0,853	3,720	18	0,002	2,200	0,59133	0,95767	3,44233
nº2	Equal variances assumed	2,861	0,108	2,634	18	0,017	1,900	0,72140	0,38439	3,41561

Pela análise da tabela 31 pode concluir-se, para ambas as porcas, que há homogeneidade de variâncias, quer nos provetes quer nas peças intercaladas. As médias da força de arrancamento apresentam diferenças significativas quando são utilizados os provetes e quando são utilizadas as peça intercaladas. Apesar da homogeneidade de variâncias existem diferenças significativas entre as médias, as médias da força de arrancamento são superiores nos provetes. Assim de forma a eliminar a passagem de corrente a acção implementada consistiu em isolar o eléctrodo superior da prensa 1 rectificando o porta-eléctrodos cerca de 3 mm e foi colocado *celerom* para evitar a passagem de corrente (ver figura 24).



Figura 24. Porta eléctrodos após a rectificação de 3mm e colocação de celerom.

Após estes resultados, parece evidente que a causa para a dispersão estará associada à perda de corrente. No entanto é importante verificar se esta dispersão se mantém ao longo da produção em serie. Na tabela 32 apresentam-se as estatísticas descritivas de ambas as referências. A amostra foi recolhida durante alguns dias de produção e foi efectuada a respectiva comparação com as amostras iniciais, (ver tabela 1 e 2 - referência 268 e tabela 3 - referência 092).

Tabela 32. Estatísticas descritivas - amostra inicial e após a rectificação do porta-eléctrodos.

Porcas M8		n	Média	Desvio Padrão
nº1 - 268	Amostra Inicial	127	13,22	2,1807
	Após rectificação do porta-eléctrodos	118	13,83	2,2073
nº 2 - 268	Amostra Inicial	128	13,08	2,2253
	Após rectificação do porta-eléctrodos	118	13,42	2,1016
nº 1 - 092	Amostra Inicial	128	13,13	2,1697
	Após rectificação do porta-eléctrodos	100	14,07	1,8959
nº 2 - 092	Amostra Inicial	128	12,37	2,2875
	Após rectificação do porta-eléctrodos	100	13,51	1,9915

Em ambas as referências verificou-se para todas as porcas uma diminuição da dispersão, excepto para a porca nº1 da referência 268. Quanto às médias verificou-se um ligeiro aumento da força de arrancamento. De forma a verificar se estas diferenças são significativas recorreu-se a um teste t, (ver tabela 34). Na tabela 33 está representado o teste à normalidade.

Tabela 33. Teste à normalidade - amostra inicial e após a rectificação do porta-eléctrodos.

Porcas M8		Kolmogorov-Smirnov(a)		
		Statistic	df	Sig.
nº1 - 268	Amostra Inicial	0,072	127	0,174
	Após rectificação do porta-eléctrodos	0,069	118	0,200(*)
nº2 - 268	Amostra Inicial	0,095	128	0,006
	Após rectificação do porta-eléctrodos	0,060	118	0,200(*)
nº1 - 092	Amostra Inicial	0,084	128	0,029
	Após rectificação do porta-eléctrodos	0,099	100	0,017
nº2 - 092	Amostra Inicial	0,054	128	0,200(*)
	Após rectificação do porta-eléctrodos	0,065	100	0,200(*)

* This is a lower bound of the true significance. a Lilliefors Significance Correction

Paras a porca nº2 da referência 268 da amostra inicial e para a porca nº1 da referência 092 da amostra inicial e da amostra após a rectificação do porta-eléctrodos, verificou-se que força de arrancamento não apresenta uma distribuição normal. Para as restantes porcas a força de arrancamento apresenta uma distribuição aproximadamente normal.

Tabela 34. Independent Samples Test - amostra inicial e após rectificação porta-eléctrodos.

Porcas M8		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig.	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
nº1-268	Equal variances assumed	0,587	0,444	2,180	243	0,030	0,6113	0,2805	0,0589	1,1638
nº2-268	Equal variances not assumed	4,102	0,044	1,219	243,86	0,224	0,3364	0,2759	-0,2070	0,8798
nº1-092	Equal variances assumed	2,401	0,123	3,443	226	0,001	0,9440	0,2742	0,4038	1,4842
nº2-092	Equal variances assumed	2,909	0,089	3,948	226	0,000	1,1397	0,2887	0,5709	1,7085

Para a porca nº2 da referência 268 não há homogeneidade de variâncias entre a amostra inicial e a amostra após a rectificação do porta-eléctrodos. As médias da força de arrancamento da porca nº2 da referência 268, antes e depois da rectificação dos eléctrodos, não apresentam diferenças significativas. Para as restantes porcas as variâncias são homogéneas e as porcas nº1 de ambas as referências e a porca nº2 da referência 092 apresentam as médias da força de arrancamento, antes e depois da rectificação dos eléctrodos, com diferenças significativas.

Verificou-se após estas análises que com a rectificação do porta-eléctrodos houve um aumento significativo das médias da força de arrancamento das porcas nº1 de ambas as referências e da porca nº2 da referência 092. Quanto à dispersão não se verificaram diferenças significativas, excepto na porca nº2 da referência 268 em que houve uma diminuição significativa.

Pode concluir-se que após todas as acções correctivas anteriormente mencionadas continuou a existir uma dispersão elevada. Passa-se de seguida a descrever a última acção implementada.

h) Causa Geral ► Máquina

Causa nível 1 ► Máquina de ensaios

Causa nível 2 ► Velocidade de aplicação da força

A velocidade de aplicação da força, para accionamento manual da alavanca da máquina de ensaios, é variável devido ao facto da aplicação da força ser manual e exercida pelos operadores. Este factor pode influenciar na variabilidade da força de arrancamento.

Acção correctiva implementada

De forma a minimizar o erro associado a esta variável desenvolveu-se uma adaptação na máquina de ensaios de arrancamento para que a força exercida de forma manual passasse a ser exercida automaticamente e a uma velocidade constante, (ver Anexo F). Após esta alteração compararam-se os últimos valores da força de arrancamento obtidos na máquina manual com os valores obtidos na máquina automática. A tabela 35 apresenta as estatísticas descritivas dos dados obtidos em ambas as situações.

Tabela 35. Estatísticas descritivas - máquina manual e máquina automática.

Referência 268		n	Média	Desvio Padrão	Referência 092		n	Média	Desvio Padrão
Porca nº1 M8	Manual	118	13,83	2,2073	Porca nº1 M8	Manual	100	14,07	1,8959
	Automática	30	12,03	1,9544		Automática	25	11,59	2,1732
Porca nº2 M8	Manual	118	13,42	2,1016	Porca nº2 M8	Manual	100	13,51	1,9915
	Automática	30	11,24	2,9365		Automática	25	11,68	3,0990
Porca nº3 M8	Manual	118	13,96	2,0945	Porca nº3 M10	Manual	100	19,38	2,4324
	Automática	30	13,12	1,7390		Automática	25	21,04	1,5838
Porca nº4 M10	Manual	118	17,35	2,2541					
	Automática	30	17,77	2,6388					

Pela análise da tabela 35 verificou-se que as médias da força de arrancamento obtidas na máquina automática são inferiores às obtidas na máquina manual, excepto para as porcas M10. Continuou-se ainda a verificar valores da força de arrancamento inferiores à especificação, quer para a máquina manual quer para a máquina automática. Quanto à dispersão esta aumentou nas porcas nº2 M8 e nº4 M10 da referência 268 e nas porcas nº1 M8 e nº2 M8 da referência 092. Através do teste t, (ver tabela 37), verificou-se se estas diferenças são estatisticamente significativas. Na tabela 36 está representado o teste à normalidade para os dados de ambas as referências.

Tabela 36. Teste à normalidade - máquina manual e máquina automática.

		Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Porca nº1 M8 - 268	Manual	0,069	118	0,200(*)	0,984	118	0,187
	Automática	0,154	30	0,066	0,965	30	0,416
Porca nº2 M8 - 268	Manual	0,060	118	0,200(*)	0,988	118	0,381
	Automática	0,145	30	0,109	0,935	30	0,067
Porca nº3 M8 - 268	Manual	0,076	118	0,093	0,985	118	0,229
	Automática	0,139	30	0,143	0,928	30	0,043
Porca nº4 M10 - 268	Manual	0,034	118	0,200(*)	0,994	118	0,914
	Automática	0,145	30	0,108	0,934	30	0,061
Porca nº1 M8 - 092	Manual	0,099	100	0,017	0,975	100	0,053
	Automática	0,116	25	0,200(*)	0,961	25	0,433
Porca nº2 M8 - 092	Manual	0,065	100	0,200(*)	0,987	100	0,435
	Automática	0,105	25	0,200(*)	0,974	25	0,735
Porca nº3 M10 - 092	Manual	0,076	100	0,164	0,975	100	0,057
	Automática	0,156	25	0,117	0,971	25	0,682

* This is a lower bound of the true significance.
a. Lilliefors Significance Correction

A força de arrancamento da porca nº1 M8 da referência 092 da máquina manual não apresenta uma distribuição normal. A força de arrancamento das restantes porcas, de ambas as referências, apresenta uma distribuição aproximadamente normal. A nível exploratório aplicou-se o teste t, (ver tabela 37), mesmo na força de arrancamento que não apresentaram distribuição normal quando aplicado o teste Kolmogorov-Smirnov.

Tabela 37. Independent Samples Test - máquina manual e máquina automática.

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Ref. ^a 268										
Porca nº1 M8	Equal variances assumed	1,390	0,240	4,061	146	0,000	1,7929	0,4415	0,9203	2,6656
Porca nº2 M8	Equal variances not assumed	4,762	0,031	3,812	36,89	0,001	2,1728	0,5700	1,0178	3,3278
Porca nº3 M8	Equal variances assumed	0,884	0,349	2,013	146	0,046	0,8351	0,4148	0,0153	1,6550
Porca nº4 M10	Equal variances assumed	2,297	0,132	-0,88	146	0,381	-0,4192	0,4775	-1,3630	0,5246
Ref. ^a 092										
Porca nº1 M8	Equal variances assumed	0,281	0,597	5,64	123	0,000	2,4770	0,4389	1,6082	3,3458
Porca nº2 M8	Equal variances not assumed	8,286	0,005	3,19	29,71	0,003	1,9820	0,6217	0,7117	3,2523
Porca nº3 M10	Equal variances not assumed	11,726	0,001	-4,15	55,93	0,000	-1,6560	0,3994	-2,4561	-0,8559

Pela análise da tabela 37 e relativamente à referência 268, a porca nº2 M8 não apresenta homogeneidade de variâncias. Quanto às médias da força de arrancamento as porcas nº1, nº2 e nº3 M8 apresentam diferenças significativas. Em relação à referência 092 verifica-se que as porcas nº2 M8 e nº3 M10 não apresentam homogeneidade de variâncias. Relativamente às médias da força de arrancamento verifica-se que as porcas nº1, nº2 e nº3 apresentam diferenças significativas. Para a referência 092 pode concluir-se que apenas a porca nº1 M8 apresenta uma dispersão igual ao passar a utilizar a máquina automática. Em relação às médias, as porcas M8 sofreram uma diminuição e a porca M10 sofreu um aumento.

Para a referência 268 pode concluir-se que apenas a porca nº2 M8 apresenta uma dispersão diferente ao passar a utilizar a máquina automática, a dispersão sofreu um aumento significativo. Em relação às médias, a média da porca nº4 M10 não sofreu alteração significativa, enquanto as porcas nº1, nº2 e nº3 M8 sofreram uma diminuição significativa da média.

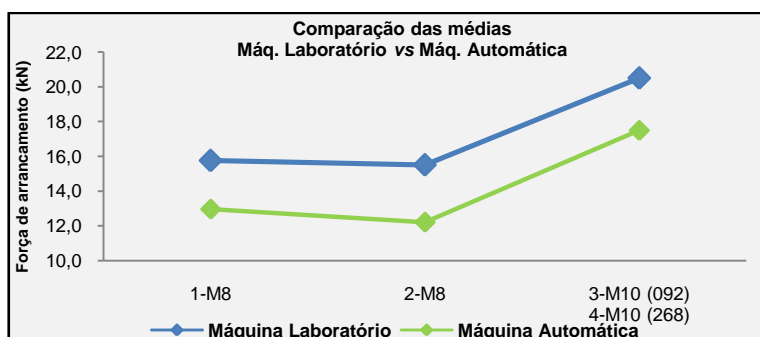
Após este estudo e como a máquina sofreu uma alteração no seu funcionamento passando da forma manual para a forma automática, resolveu-se comparar os valores da força de arrancamento obtidos na máquina do laboratório com os valores obtidos na máquina automática da produção. A recolha da amostra foi efectuada durante uma semana em que se retiraram duas peças seguidas por turno de qualquer referência (268 ou 092), uma peça para realizar o teste na

máquina do laboratório e a outra peça para realizar o teste na máquina automática. As estatísticas descritivas dos resultados obtidos são apresentadas na tabela 38. Nos gráficos 6 e 7 estão representados os resultados obtidos de forma a comparar as médias e o desvio padrão de cada máquina, respectivamente. Não foram comparadas as médias da porca nº3 M8 por falta de dados.

Tabela 38. Estatísticas descritivas - máquina do laboratório e máquina automática.

Máquina do Laboratório	n	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Porca nº 1 M8	11	12,85	18,88	15,76	1,663
Porca nº 2 M8	11	12,18	20,30	15,51	2,101
Porca nº 3/4 M10 - 092/268	11	16,58	25,13	20,50	3,120
Máquina automática	n	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Porca nº 1 M8	10	10,40	17,10	12,96	2,525
Porca nº 2 M8	10	10,00	17,70	12,21	2,405
Porca nº 3/4 M10- 092/268	10	13,60	20,40	17,49	2,409

Gráfico 6. Médias da força de arrancamento - máquina do laboratório e automática.

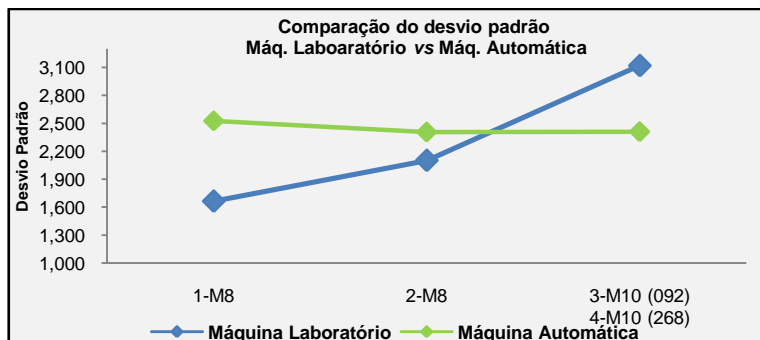


Dos resultados obtidos na tabela 38 e pela análise do gráfico 6 verificou-se que as médias da força de arrancamento obtidas na máquina do laboratório são superiores às médias da força de arrancamento obtidas na máquina automática. A variação (Δ) entre as médias obtidas para as diferentes porcas está apresentada na tabela 39.

Tabela 39. Variação entre as médias obtidas na máquina do laboratório e a automática.

Máquina	Porca M8 nº1	Porca M8 nº2	Porca M10 nº3 (092) / Porca M10 nº4 (268)
Máquina do Laboratório - Média	15,76	15,51	20,50
Máquina Automática - Média	12,96	12,21	17,49
Δ	2,80 kN	3,30 kN	3,01 kN

Gráfico 7. Desvio padrão da força de arrancamento - máquina do laboratório e automática.



Relativamente à dispersão da força de arrancamento verificou-se pela tabela 38 e pelo gráfico 7 que esta é superior na máquina automática, excepto para as porcas M10. A dispersão na máquina

automática é muito próxima em todas as porcas. Verifica-se que mesmo nos resultados obtidos na máquina do laboratório a dispersão é superior a 2kN para a porca M8 nº2 e superior a 3kN para a porca M10. De forma a verificar se existem diferenças estatisticamente significativas entre as máquinas, aplicou-se o teste t (ver tabela 41). Na tabela 40 está representado o teste à normalidade para os valores obtidos quer na máquina automática quer na máquina do laboratório.

Tabela 40. Teste à normalidade - máquina do laboratório e máquina automática.

Porcas		Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
M8 nº1	Automática	0,291	10	0,016	0,835	10	0,038
	Laboratório	0,135	11	0,200(*)	0,980	11	0,964
M8 nº2	Automática	0,218	10	0,194	0,852	10	0,062
	Laboratório	0,176	11	0,200(*)	0,938	11	0,492
M10 nº3/4	Automática	0,184	10	0,200(*)	0,922	10	0,378
	Laboratório	0,173	11	0,200(*)	0,915	11	0,279

* This is a lower bound of the true significance.
a. Lilliefors Significance Correction

Tabela 41. Independent Samples Test - máquina do laboratório e máquina automática.

Porcas das referências 092 / 268		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
				t	df	Sig.	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.						Lower	Upper
M8 nº1	Equal variances assumed	4,154	0,056	-3,03	19	0,007	-2,8027	0,92424	-4,7372	-0,8683
M8 nº2	Equal variances assumed	0,228	0,639	-3,36	19	0,003	-3,3018	0,98312	-5,3595	-1,2441
M10 nº3/4	Equal variances assumed	1,431	0,246	-2,46	19	0,024	-3,0136	1,22597	-5,5796	-0,4477

Pela análise da tabela 40 apenas a porca M8 nº1 não apresenta uma distribuição normal para a força de arrancamento. Todas as porcas apresentam homogeneidade de variâncias e as médias da força de arrancamento, em todas as porcas, apresentam diferenças significativas. Da comparação entre as duas máquinas verificou-se que existem diferenças significativas ao nível dos valores da força de arrancamento, não se registando diferenças significativas ao nível da dispersão. De forma a eliminar as diferenças significativas entre as médias das duas máquinas, a acção seguinte a implementar passará por calibrar a máquina automática. A implementação desta acção não é abordada neste relatório, uma vez que a acção decorrerá numa fase pós-estágio.

Tudo parece indicar que não será pelo facto da máquina automática ser calibrada que a variabilidade da força de arrancamento diminuirá. Após todas as acções correctivas implementadas continuou a existir uma dispersão elevada. Assim, pode-se concluir que existem outros factores que possam estar a influenciar a dispersão apresentada.

Na tabela 42 são resumidas as causas, as acções, os testes aplicados e a avaliação da eficácia das acções correctivas implementadas desde a alínea c) à alínea h), visto serem de mais difícil acompanhamento, recorrendo-se a várias comparações de valores da força de arrancamento, quer ao nível da variabilidade quer ao nível das médias, utilizando essencialmente testes t.

Tabela 42. Guia das causas, das acções, dos testes aplicados e da avaliação da eficácia das acções correctivas implementadas.

Causa	Alínea	Implementação das acções correctivas	Aplicação	Teste	Avaliação da eficácia das acções correctivas
Orientação das bossas	c)	<p>► Soldaram-se 20 peças da referência 092 e procedeu-se aos ensaios de arrancamento:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 10 peças foram soldadas com as porcas na orientação 1 (uma bossa voltada para a zona onde dobra a aba e duas bossas para a periferia da aba); - 10 peças foram soldadas com as porcas na orientação 2 (duas bossas para a zona onde dobra a aba e uma bossa para a periferia da aba); 	<p>Referência 092 Porca nº1 M8 Porca nº2 M8</p>	t	<p>► Homogeneidade de variâncias</p> <ul style="list-style-type: none"> - há homogeneidade das variâncias para as porcas M8 nº1 e nº2 com diferentes orientações das protuberâncias; <p>► Teste às médias</p> <ul style="list-style-type: none"> - não existem diferenças significativas entre as médias da força de arrancamento da porca nº1 (orientação 1) e entre a porca nº1 (orientação 2); - não existem diferenças significativas entre as médias da força de arrancamento da porca nº2 (orientação 1) e entre a porca nº2 (orientação 2); <p>♦ Ao que parece a orientação das protuberâncias não influencia a variabilidade nem a força de arrancamento.</p>
Acessórios de ensaio	d)	<p>► Desenvolveram-se novos acessórios;</p> <p>► Implementou-se o procedimento de especificar o diâmetro dos acessórios de ensaio na gama de fabrico e controlo, para as peças novas;</p> <p>► Soldaram-se 20 peças da referência 268 e procedeu-se aos ensaios de arrancamento:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 10 peças foram testadas com os acessórios antigos; - 10 peças foram testadas com os acessórios novos; 	<p>Referência 268 Porca nº1 M8 Porca nº2 M8 Porca nº3 M8 Porca nº4 M10</p>	t	<p>► Homogeneidade de variâncias</p> <ul style="list-style-type: none"> - há homogeneidade das variâncias para todas as porcas, quer se utilize os acessórios novos quer se utilize os acessórios antigos; <p>► Teste às médias</p> <ul style="list-style-type: none"> - para a porca nº3 M8 existem diferenças significativas entre a média da força de arrancamento obtida com o acessório antigo e a média da força de arrancamento obtida com o acessório novo. A força de arrancamento diminui com a utilização do acessório novo; - para as restantes porcas não existem diferenças significativas entre as médias da força de arrancamento obtidas com os acessórios antigos e as médias da força de arrancamento obtidas com os acessórios novos; <p>♦ A utilização dos acessórios novos não influenciou a variabilidade da força de arrancamento. Apenas se registou uma diminuição significativa da força de arrancamento na porca nº3 M8.</p>
Passagem de corrente da 1ª para a 2ª soldadura	e)	<p>► Procedeu-se ao isolamento das soldaduras separando as massas da prensa 1. Passou-se a ter dois transformadores, um para cada cilindro;</p> <p>► Realizaram-se 20 ensaios de arrancamento de cada referência:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 20 peças da referência 268; - 20 peças da referência 092; <p>► Comparam-se as estatísticas descritivas dos resultados obtidos antes e após a separação das massas da prensa 1;</p>	<p>Referência 092 Porca nº1 M8 Porca nº2 M8</p> <p>Referência 268 Porca nº1 M8 Porca nº2 M8</p>	t	<p>► Homogeneidade de variâncias</p> <ul style="list-style-type: none"> - há homogeneidade das variâncias para a porca nº1 e nº2 M8 da referência 092; - as porcas da referência 268, não apresentam homogeneidade de variâncias; <p>► Teste às médias</p> <ul style="list-style-type: none"> - na referência 092 as médias da força de arrancamento da porca nº2 são estatisticamente diferentes, mais elevadas depois da separação das massas; - na referência 268 as médias da força de arrancamento de ambas as porcas apresentam diferenças significativas, mais elevadas depois da separação das massas; <p>♦ Após a implementação da acção</p> <p>A acção implementada teve efeitos positivos na dispersão. Esta diminuiu significativamente nas porcas nº1 M8 e nº2 M8 da referência 268. Os valores da força de arrancamento aumentaram significativamente, excepto na porca nº1 M8 da referência 092. Contudo peças produzidas após esta acção apresentaram salpicos de solda nas porcas.</p>

Causa	Alínea	Implementação das acções correctivas	Aplicação	Teste	Avaliação da eficácia das acções correctivas
1ª Alteração de Parâmetros	f)	<p>1ª Alteração de parâmetros</p> <p>► Aumentou-se a pressão de soldadura permitindo a redução da intensidade, reduzindo assim o risco de salpicos;</p> <p>► Realizaram-se ensaios de arrancamento:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 10 peças seguidas da referência 268; - 10 peças seguidas da referência 092; <p>► Foram comparadas as estatísticas descritivas das amostras obtidas antes e depois da alteração de parâmetros;</p>	<p>Referência 092 Porca nº1 M8 Porca nº2 M8</p> <p>Referência 268 Porca nº1 M8 Porca nº2 M8</p>	t	<p>1ª Alteração de parâmetros</p> <p>► Homogeneidade de variâncias</p> <ul style="list-style-type: none"> - não há homogeneidade de variâncias para a porca nº1 da referência 268; - as restantes porcas apresentam homogeneidade de variâncias; <p>► Teste às médias</p> <ul style="list-style-type: none"> - as médias da força de arrancamento, antes e depois da alteração de parâmetros, da porca nº1 da referência 268 são significativamente diferentes; - não existem diferenças significativas entre as médias da força de arrancamento, antes e depois da 1ª alteração de parâmetros, das porcas nº1 e nº2 da referência 092 e nº2 da referência 268; <p>♦ A alteração de parâmetros não alterou significativamente os valores da força de arrancamento nem a dispersão das porcas M8, excepto para a porca nº1 da referência 268 que não apresenta homogeneidade de variâncias e as médias são significativamente diferentes antes e depois da alteração dos parâmetros. Contudo, após esta intervenção continuou-se a encontrar algumas porcas com salpicos de solda.</p>
2ª Alteração de Parâmetros	f)	<p>2ª Alteração de parâmetros</p> <p>► Aumentou-se o tempo de soldadura e diminuiu-se a intensidade da corrente;</p> <p>► Realizaram-se ensaios a:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 15 peças da referência 268; - 18 peças da referência 092; <p>► Compararam-se os valores obtidos antes da 1ª alteração e depois da 2ª alteração de parâmetros;</p>	<p>Referência 092 Porca nº1 M8 Porca nº2 M8</p> <p>Referência 268 Porca nº1 M8 Porca nº2 M8</p>	t	<p>1ª Alteração de parâmetros</p> <p>► Homogeneidade de variâncias</p> <ul style="list-style-type: none"> - a força de arrancamento da porca nº1 da referência 092 não apresenta homogeneidade de variâncias; - as restantes porcas apresentam homogeneidade de variâncias; <p>► Teste às médias</p> <ul style="list-style-type: none"> - As médias da porca nº1 e nº2 da referência 092 e porca nº1 da referência 268 não apresentam diferenças significativas; - As médias da força de arrancamento da porca nº2 da referência 268 apresentam diferenças significativas da 1ª alteração para a 2ª alteração de parâmetros; <p>♦ A 2ª alteração de parâmetros aumentou significativamente a dispersão da força de arrancamento na porca nº1 da referência 092 e diminuiu significativamente a média da força de arrancamento da porca nº2 da referência 268. As restantes porcas não sofreram alterações significativas ao nível da dispersão nem ao nível dos valores da força de arrancamento.</p> <p>♦ O problema da existência dos salpicos foi resolvido, no entanto, voltou-se novamente para uma situação de elevada variabilidade de algumas porcas.</p>
Perdas de corrente	g)	<p>► Cortaram-se 10+10 provetes de chapa da peça com referência 092 (somente zona plana) e soldaram-se as porcas nº1 e nº2 M8;</p> <p>► As soldaduras dos provetes foram intercaladas com 10 peças serie;</p>	<p>Referência 092 Porca nº1 M8 Porca nº2 M8</p>	t	<p>► Homogeneidade de variâncias</p> <ul style="list-style-type: none"> - para ambas as porcas as variâncias da força de arrancamento são homogéneas; <p>► Teste às médias</p> <ul style="list-style-type: none"> - para ambas as porcas as médias da força de arrancamento apresentam diferenças significativas quando são utilizados os provetes <p>♦ Apesar de existir homogeneidade de variâncias, existem diferenças significativas entre as médias, aumento da força de arrancamento com os provetes.</p>

Causa	Alínea	Implementação das acções correctivas	Aplicação	Teste	Avaliação da eficácia das acções correctivas
Perdas de corrente	g)	<p>Após os resultados dos provetes:</p> <p>► Procedeu-se ao isolamento do eléctrodo superior da prensa 1;</p> <p>► Rectificou-se o porta-eléctrodos cerca de 3 mm e foi colocado <i>celerom</i> para que evitar a passagem de corrente;</p>	<p>Referência 092 Porca nº1 M8 Porca nº2 M8</p> <p>Referência 268 Porca nº1 M8 Porca nº2 M8</p>	t	<p>Após a rectificação do porta-eléctrodos os resultados da produção foram comparados com as amostras iniciais:</p> <p>► Homogeneidade de variâncias</p> <p>- não se verificaram diferenças significativas relativamente à dispersão, excepto na porca nº2 da referência 268 em que se verificou uma diminuição significativa;</p> <p>► Teste às médias</p> <p>- após a rectificação do porta-eléctrodos houve um aumento significativo das médias da força de arrancamento, excepto para a porca nº2 da referência 268 em que o aumento não foi significativo;</p> <p>♦ Após todas as acções correctivas anteriormente mencionadas continuou a existir uma dispersão elevada.</p>
Velocidade de aplicação da força	h)	<p>► Automatização da máquina manual;</p> <p>► Comparação entre a máquina manual e a máquina automática;</p>	<p>Referência 092 Porca nº1 M8 Porca nº2 M8 Porca nº3 M10</p> <p>Referência 268 Porca nº1 M8 Porca nº2 M8 Porca nº3 M8 Porca nº4 M10</p>	t	<p>Comparação entre a máquina manual e a máquina automática:</p> <p>► Homogeneidade de variâncias</p> <p>- as variâncias das porcas nº2 M8 da referência 268, nº2 M8 da referência 092 e nº3 M10 da referência 092 não são homogéneas;</p> <p>- Para as restantes porcas as variâncias das porcas são homogéneas;</p> <p>► Teste às médias</p> <p>- as médias das porcas nº1, nº2, nº3 M8 da referência 268 apresentam diferenças significativas e a porca nº4 M10 da referência 268 não apresenta diferenças significativas;</p> <p>- as médias das porcas nº1 M8, nº2 M8 e nº3 M10 da referência 092 apresentam diferenças significativas;</p> <p>♦ Para a referência 092 apenas a porca nº1M8 apresenta homogeneidade de variâncias ao passar a utilizar a máquina automática. A dispersão aumentou significativamente nas porcas nº2 M8 e nº3 M10. Em relação às médias as porcas M8 sofreram uma diminuição da força de arrancamento e a porca M10 um aumento da força de arrancamento.</p> <p>♦ Para a referência 268 apenas a porca M8 nº2 apresenta uma dispersão diferente ao passar a utilizar a máquina automática, a dispersão sofreu um aumento significativo. Em relação às médias da força de arrancamento das porcas nº1, nº2 e nº3 M8 sofreram uma diminuição significativa.</p>
Velocidade de aplicação da força	h)	<p>► Comparação dos resultados da força de arrancamento obtidos na máquina do laboratório e na máquina automática.</p>	<p>Referência 092 Porca nº1 M8 Porca nº2 M8 Porca nº3 M10</p> <p>Referência 268 Porca nº1 M8 Porca nº2 M8 Porca nº4 M10</p>	t	<p>► Homogeneidade de variâncias</p> <p>- todas as porcas apresentam homogeneidade de variâncias;</p> <p>► Teste às médias</p> <p>- todas as porcas apresentam médias com diferenças significativas;</p> <p>♦ Existem diferenças significativas ao nível dos valores da força de arrancamento não se registando diferenças ao nível da dispersão.</p>

De seguida, apresenta-se o estudo da capacidade do processo para as referências 268 e 092.

4.5.7.4 Análise da capacidade do processo

Neste ponto pretende-se estudar a capacidade do processo de cada porca das referências 092 e 268. É importante saber se o processo tem capacidade de produzir de acordo com as especificações estabelecidas para o produto. Como a especificação para a variável em causa, força de arrancamento, é unilateral, o índice da capacidade do processo C_{pk} é definido pela equação $C_{pk} = \frac{\mu - LIE}{3\sigma}$. A característica em estudo tem obrigatoriamente de se encontrar acima do limite inferior de especificação, 10kN para as porcas M8 e 11kN para as porcas M10. Para uma especificação técnica unilateral considera-se habitualmente que o processo é capaz quando $C_{pk} \geq 1,25$. No entanto o valor de C_{pk} deve ser o mais elevado possível. Este índice aplica-se quando os dados referentes à força de arrancamento são normalmente distribuídos, caso contrário, o índice anteriormente referido não é aplicável. Assim, assume-se que a probabilidade de um valor da variável se encontrar no intervalo $\mu \pm 2,575\sigma$ é igual a 99%. Neste caso, o índice da capacidade do processo C_{pk} é definido pela equação $C_{pk} = \frac{\mu - LIE}{2,575\sigma}$.

Inicialmente, compara-se a capacidade do processo para cada porca das referências 092 e 268, utilizando o mesmo instrumento de medida, a máquina manual. Assim, vai ser calculada a capacidade do processo antes da aplicação das várias acções correctivas e após as acções correctivas, excepto a acção que engloba a mudança da máquina manual para a forma automática.

Análise da capacidade do processo - referências 268 e 092 Máquina manual (antes da aplicação das acções correctivas)

Anteriormente, foram apresentadas as tabelas 1,2 e 3 com as estatísticas descritivas dos dados recolhidos antes da aplicação das várias acções correctivas, relativas a ambas as referências. Nas tabelas 4 e 8 foram apresentados os resultados do teste à normalidade para cada porca de cada referência. Segundo os dados das tabelas calculou-se a capacidade do processo. As tabelas 43 e 44 apresentam os índices C_{pk} para cada porca de cada referência utilizando a máquina manual.

Tabela 43. Índice C_{pk} referência 092 - máquina manual antes das acções correctivas.

Referência / Porcas			C_{pk}	
			Dados apresentam	Dados não apresentam
			Distribuição normal $C_{pk} = \frac{\mu - LIE}{3\sigma}$	Distribuição normal $C_{pk} = \frac{\mu - LIE}{2,575\sigma}$
268	LIE	n		
Porca M8 nº1 - 268	10kN	127	0,49	-
Porca M8 nº2 - 268	10kN	128	-	0,54
Porca M8 nº3 - 268	10kN	128	0,44	-
Porca M10 nº4 - 268	11kN	128	-	0,84

Tabela 44. Índice C_{pk} referência 268 - máquina manual antes das acções correctivas.

Referência / Porcas			C_{pk}	
			Dados apresentam	Dados não apresentam
			Distribuição normal $C_{pk} = \frac{\mu - LIE}{3\sigma}$	Distribuição normal $C_{pk} = \frac{\mu - LIE}{2,575\sigma}$
092	LIE	n		
Porca M8 nº1 - 092	10kN	128	-	0,56
Porca M8 nº2 - 092	10kN	128	0,35	-
Porca M10 nº3 - 092	11kN	126	0,85	-

Pela análise das tabelas 43 e 44 verifica-se que todos os valores de C_{pk} são inferiores a 1,25. Pode concluir-se que cada processo, associado a cada porca, não é capaz para a especificação técnica definida por 10kN para as porcas M8 e 11kN para as porcas M10.

Análise da capacidade do processo - referências 268 e 092 (máquina manual depois das acções correctivas, excepto a acção que engloba a mudança da máquina manual para a forma automática)

Na tabela 35 e 36 foram apresentadas as estatísticas descritivas dos dados recolhidos depois das acções correctivas, excepto a acção que engloba a mudança da máquina manual para a forma automática, e o teste à normalidade para cada porca de cada referência.

A tabela 45 apresenta os índices C_{pk} para cada porca de cada referência utilizando a máquina manual depois das acções correctivas, excepto a acção que engloba a mudança da máquina manual para a forma automática.

Tabela 45. Índice C_{pk} - máquina manual depois das acções correctivas.

Referências / Porcas			C_{pk}	
			Dados apresentam	Dados não apresentam
			Distribuição normal $C_{pk} = \frac{\mu - LIE}{3\sigma}$	Distribuição normal $C_{pk} = \frac{\mu - LIE}{2,575\sigma}$
268	LIE	n		
Porca M8 nº1 - 268	10kN	118	0,58	-
Porca M8 nº2 - 268	10kN	118	0,54	-
Porca M8 nº3 - 268	10kN	118	0,63	-
Porca M10 nº4 - 268	11kN	118	0,94	-
092	LIE	n		
Porca M8 nº1 - 092	10kN	100	-	0,83
Porca M8 nº2 - 092	10kN	100	0,59	-
Porca M10 nº3 - 092	11kN	100	1,15	-

Pela análise da tabela 45 verifica-se que todos os valores de C_{pk} são inferiores a 1,25. Pode concluir-se que cada processo, associado a cada porca, não é capaz para a especificação técnica definida por 10kN para as porcas M8 e 11kN para as porcas M10.

Para ambas as situações, antes da implementação das ações correctivas e depois das ações correctivas, (excepto a acção que engloba a mudança da máquina manual para a forma automática), verifica-se que cada processo associado a cada porca não é capaz para a especificação técnica definida. É de salientar no entanto, que comparando os valores de C_{pk} de ambas as situações, verifica-se que há um aumento do seu valor em todas as porcas, (ver tabelas 43, 44 e 45), após as várias ações correctivas.

Análise da capacidade do processo - referências 268 e 092 (máquina automática)

Nas tabelas 35 e 36 foram apresentadas as estatísticas descritivas depois da acção mudança da máquina manual para a forma automática, bem como os resultados do teste à normalidade para cada porca de cada referência. No gráfico 8 estão representados os histogramas das porcas da referência 268 e no gráfico 9 estão representados os histogramas das porcas da referência 092.

Gráfico 8. Histograma das porcas M8 e M10 da referência 268 (máquina automática).

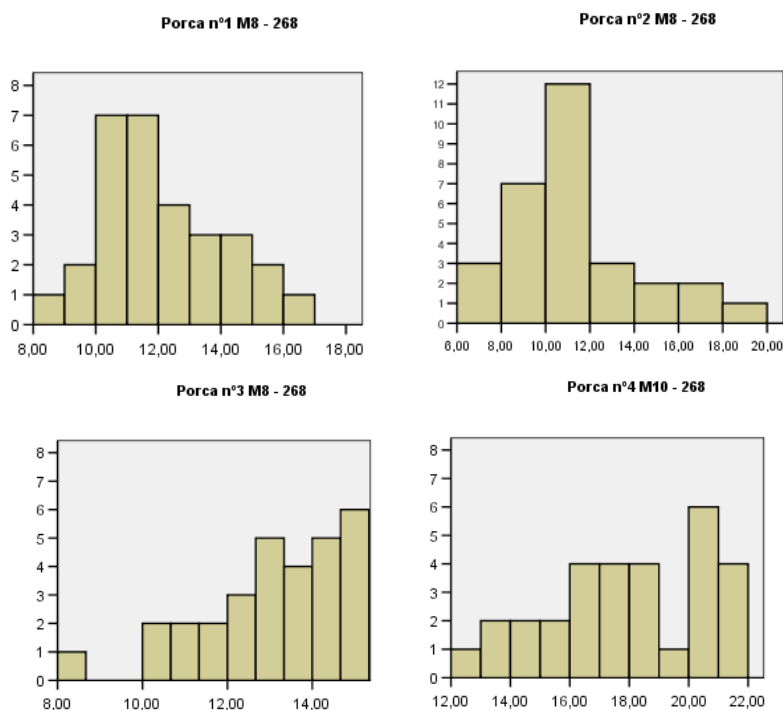
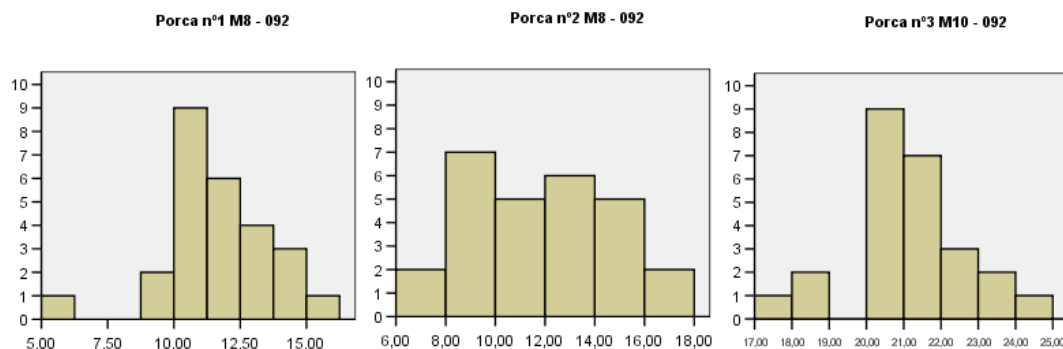


Gráfico 9. Histograma das porcas M8 e M10 da referência 092 (máquina automática).



A tabela 46 apresenta os índices C_{pk} para cada porca de cada referência utilizando a máquina automática para a realização dos ensaios de arrancamento.

Tabela 46. Cálculo do Índice C_{pk} - máquina automática.

Referências / Porcas			C_{pk}	
			Dados apresentam Distribuição normal $C_{pk} = \frac{\mu - LIE}{3\sigma}$	Dados não apresentam Distribuição normal $C_{pk} = \frac{\mu - LIE}{2,575\sigma}$
268	LIE	n		
Porca M8 nº1 - 268	10kN	30	0,35	-
Porca M8 nº2 - 268	10kN	30	0,14	-
Porca M8 nº3 - 268	10kN	30	0,60	-
Porca M10 nº4 - 268	11kN	30	0,86	-
092	LIE	n		
Porca M8 nº1 - 092	10kN	25	0,24	-
Porca M8 nº2 - 092	10kN	25	0,18	-
Porca M10 nº3 - 092	11kN	25	2,11	-

Como a especificação técnica é unilateral considera-se habitualmente que o processo é capaz quando $C_{pk} \geq 1,25$. Assim, pela análise da tabela 46 verifica-se que apenas a porca M10 nº3 da referência 092 apresenta $C_{pk} \geq 1,25$, $C_{pk} = 2,11$, logo o processo associado à porca nº3 M10 é capaz para a especificação técnica definida por 11kN. As restantes porcas apresentam $C_{pk} < 1,25$, logo cada processo associado a cada porca não é capaz para a especificação técnica definida por 10kN para as porcas M8 e 11kN para as porcas M10.

Como já se viu, a média da força de arrancamento da máquina automática é inferior à força de arrancamento da máquina manual, o que fez com que o índice de capacidade do processo, C_{pk} , fosse menor no primeiro caso, ou seja, na máquina automática. A máquina automática está a medir a força de arrancamento com um erro sistemático no sentido de medir uma força menor, assim, será necessário proceder à calibração da máquina automática.

Destas análises pode concluir-se que mesmo após as várias acções correctivas implementadas, a variabilidade continua elevada. Assim, as novas acções correctivas a serem propostas devem continuar a incidir prioritariamente na diminuição da variabilidade dos processos.

4.5.7.5 Influência do factor espessura da chapa na força de arrancamento

Neste ponto pretende-se estudar a influência da espessura da chapa na força de arrancamento. Foram estudadas duas peças com as espessuras de 0,8mm e 1mm, ambas com o mesmo componente, uma porca quadrada M6. Na tabela 47 estão representadas as estatísticas descritivas.

Tabela 47. Estatísticas descritivas - influência do factor espessura da chapa.

Espessura da chapa		n	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Porca M6	Espessura 1mm	80	2,30	9,00	4,74	0,9617
	Espessura 0,8mm	54	1,80	5,20	3,07	0,9708

A média da força de arrancamento é superior na chapa de maior espessura. No que diz respeito à dispersão, esta é muito semelhante para ambas as espessuras. Recorreu-se a um teste t, (ver tabela 49), de forma a investigar se existem diferenças significativas entre as médias da força de arrancamento obtidas para as diferentes espessuras de chapa. A tabela 48 apresenta o teste à normalidade.

Tabela 48. Teste à normalidade - factor espessura da chapa.

Espessura		Kolmogorov-Smirnov(a)		
		Statistic	df	Sig.
Porca M6	espessura 1mm	0,132	80	0,001
	espessura 0,8mm	0,145	54	0,007

* This is a lower bound of the true significance.
a Lilliefors Significance Correction

Com uma probabilidade de 5% conclui-se que a força de arrancamento não apresenta uma distribuição normal.

Tabela 49. Independent Samples Test - factor espessura da chapa.

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Porca M6	Equal variances assumed	1,680	0,197	9,832	132	0,000	1,6715	0,1700	1,3352	2,0078

Da análise da tabela 49 conclui-se que as variâncias são homogêneas e que as médias da força de arrancamento são significativamente diferentes.

Pode concluir-se que o factor espessura da chapa influencia significativamente a força de arrancamento, maior espessura da chapa maior a força de arrancamento.

4.5.7.6 Influência do factor localização da porca na força de arrancamento

Pretende-se estudar a influência do factor localização das porcas na força de arrancamento. Foram estudadas três localizações de porcas M8 através de uma Anova com um factor. As peças estudadas estão representadas na figura 25, são peças simétricas e possuem, cada uma, três porcas M8, porca nº1,2,3,4,6 e 7.

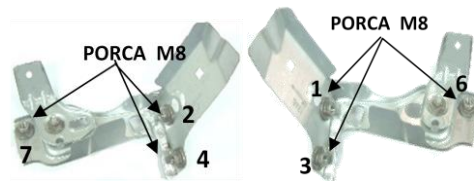


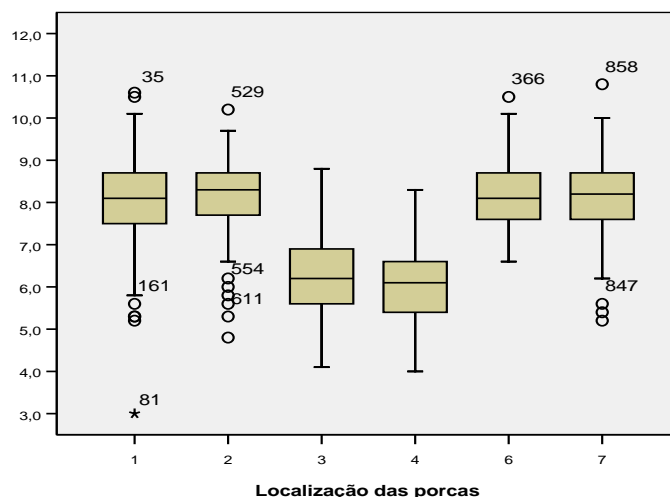
Figura 25. Peças 230 e 231 - factor localização das porcas.

Na tabela 50 estão representadas as estatísticas descritivas deste estudo.

Tabela 50. Estatísticas descritivas - factor localização das porcas.

Localização das Porcas	n	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
1	165	3,00	10,60	8,01	0,8451
2	164	4,80	10,20	8,12	0,9962
3	164	4,10	8,80	6,26	0,9145
4	165	4,00	8,30	5,99	0,7617
6	167	6,60	10,50	8,19	0,8592
7	163	5,20	10,80	8,10	0,8451

Gráfico 10. Diagrama tipo de caixa - factor localização das porcas.



Da análise da tabela 50 e do gráfico 10, parece evidente a existência de dois grupos diferentes. O primeiro grupo constituído pelas porcas com localização 1, 2, 6 e 7, e um segundo grupo constituído pelas porcas com a localização 3 e 4. O primeiro grupo apresenta médias mais elevadas, do que o segundo grupo.

Identificaram-se *outliers* nas localizações nº1,2,6 e 7. Na tabela 51 estão representadas as estatísticas descritivas relativas às várias localizações não considerando o *outlier* nº81 da localização 1.

Tabela 51. Estatísticas descritivas - factor localização das porcas.

Localização das Porcas	n	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
1	164	5,20	10,60	8,04	0,9391
2	164	4,80	10,20	8,12	0,8451
3	164	4,10	8,80	6,26	0,9962
4	165	4,00	8,30	5,99	0,9145
6	167	6,60	10,50	8,19	0,7617
7	163	5,20	10,80	8,10	0,8592

Na tabela 52 está representado o teste à normalidade, para de seguida se aplicar a Anova a um factor.

Tabela 52. Teste à normalidade - factor localização das porcas.

		Kolmogorov-Smirnov(a)		
		Statistic	df	Sig.
Força (KN)	1	0,068	164	0,060
	2	0,090	164	0,002
	3	0,076	164	0,021
	4	0,078	165	0,015
	6	0,081	167	0,009
	7	0,067	163	0,074

Pela tabela 52 conclui-se que a localização 1 e 7 apresentam uma força de arrancamento com distribuição aproximadamente normal. Para as restantes localizações, 2,3,4 e 6, a força de arrancamento não apresenta distribuição normal. Contudo, a normalidade não é restritiva para a aplicação da Anova a um factor quando o número de elementos de cada grupo é relativamente elevado (Pestana e Gageiro, 2008). Neste caso é possível a aplicação da Anova a um factor (ver tabela 54). Na tabela 53 está representado o teste à homogeneidade de variâncias para as diferentes localizações de porcas.

Tabela 53. Teste à homogeneidade de variâncias - factor localização das porcas.

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1,939	5	981	0,085

As variâncias estimadas são homogêneas.

Tabela 54. Anova a um factor- factor localização das porcas.

Força (KN)	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	875,977	5	175,195	221,773	0,000
Within Groups	774,968	981	0,790		
Total	1650,944	986			

Pela análise da tabela 54 conclui-se com uma probabilidade de erro de 5% que existe pelo menos uma porca em que a força de arrancamento é significativamente diferente. Como a Anova apenas permite concluir que existe pelo menos uma média diferente, mas nada diz sobre qual, ou quais das médias são diferentes, resolveu-se fazer a comparação múltipla de médias.

Pela análise da tabela do anexo G, pode concluir-se que as médias da força de arrancamento relativas às localizações 3 e 4 apresentam diferenças estatisticamente significativas. Chega-se a esta conclusão não só pelo nível de significância, como também pelo intervalo de confiança a 95% não conter o zero, o qual corresponde à igualdade das médias.

Assim, podem-se agrupar as porcas, de acordo com a sua localização, em dois grupos: grupo 1 - localização 1, 2, 6 e 7, e grupo 2 - localização 3 e 4. No grupo 1 as médias da força de arrancamento são significativamente mais elevadas do que no grupo 2. Esta situação parece estar relacionada com o facto das porcas com localização 3 e 4 estarem numa zona da peça muito próxima do fim da chapa, o que não permite que a força exercida, aquando do ensaio de arrancamento, seja distribuída de igual forma pela porca. Concluiu-se que mesmo se tratando de chapas iguais e componentes iguais, o factor localização das porcas influencia significativamente a força de arrancamento.

4.5.7.7 Estudo do tempo de vida dos eléctrodos e influência do número de soldaduras dos eléctrodos na força de arrancamento

Pretende-se estudar o tempo de vida dos eléctrodos e verificar se o número de soldaduras dos eléctrodos influencia a força de arrancamento, (ver Anexo H). Foi recolhida informação relativa ao número de soldaduras de cada eléctrodo aquando dos ensaios de arrancamento, das peças 230/231. Para este estudo recorreu-se à Correlação Linear de *Pearson*. Foram calculados os coeficientes de correlação (*R*). O coeficiente de correlação mede a intensidade da relação entre a força de arrancamento e o número de soldaduras dos eléctrodos. Neste caso, seria de esperar que existisse uma relação entre estas duas variáveis, ou seja, à medida que o número de soldaduras do eléctrodo aumentasse, a força de arrancamento tenderia a diminuir. A tabela 55 apresenta as correlações entre a força de arrancamento e o número de soldaduras dos eléctrodos.

Tabela 55. Coeficientes de Correlação *Pearson*.

Nº de soldaduras do eléctrodo		
Força de arrancamento - Porca M8 nº1	Pearson Correlation	- 0,031
	Sig. (2-tailed)	0,769
	n	91
Força de arrancamento - Porca M8 nº2	Pearson Correlation	0,149
	Sig. (2-tailed)	0,157
	n	91
Força de arrancamento - Porca M8 nº3	Pearson Correlation	0,239(*)
	Sig. (2-tailed)	0,023
	n	90
Força de arrancamento - Porca M8 nº4	Pearson Correlation	0,088
	Sig. (2-tailed)	0,405
	n	92
Força de arrancamento - Porca M6 nº5	Pearson Correlation	- 0,119
	Sig. (2-tailed)	0,247
	n	96

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

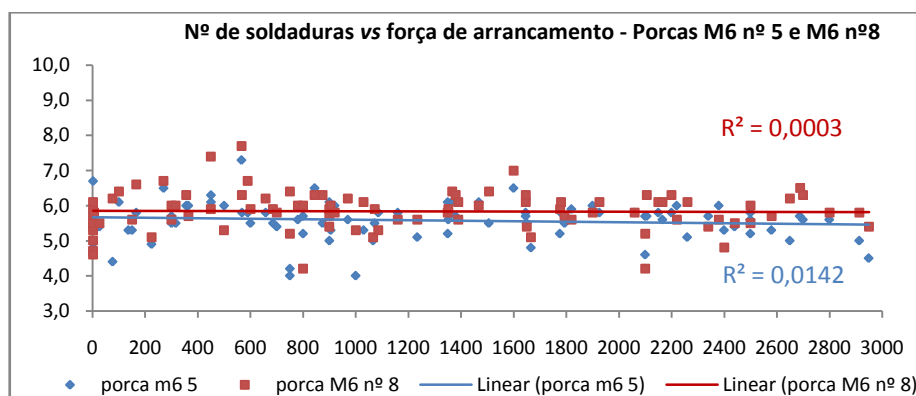
Tabela 55. Coeficientes de Correlação *Pearson* (continuação).

Nº de soldaduras do eléctrodo		
Força de arrancamento - Porca M8 nº6	Pearson Correlation	0,039
	Sig. (2-tailed)	0,705
	n	95
Força de arrancamento - Porca M8 nº7	Pearson Correlation	0,084
	Sig. (2-tailed)	0,419
	n	94
Força de arrancamento - Porca M6 nº8	Pearson Correlation	- 0,018
	Sig. (2-tailed)	0,862
	n	95

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

As correlações negativas são as que têm maior interesse para este estudo, uma vez que se está a testar se o aumento do número de soldaduras do eléctrodo influencia na força de arrancamento. Apesar de se observar três valores de *R* negativos, porcas nº1, 5 e 8, esta correlação não é estatisticamente significativa. O gráfico 11 apresenta o diagrama de dispersão das porcas M6 nº5 e M6 nº8 e a recta linear.

Gráfico 11. Diagrama de dispersão das porcas M6 nº5 e M6 nº8.



Pela análise do gráfico 11 e pelo coeficiente de correlação da tabela 55, pode concluir-se que para as porcas M6 nº5 e nºM6 nº8 a correlação apesar de negativa não é significativa.

Neste caso em particular, os eléctrodos estão a ser trocados na prensa 1 e na prensa 2 aos 4000 pontos de soldadura e na prensa 3 aos 3000 pontos de soldadura. Ao contrário do que seria de esperar, para este caso e para esta gama de valores, não há evidências da relação entre o número de soldaduras e a força de arrancamento.

Pode-se concluir que o tempo de vida dos eléctrodos poderá, sem prejudicar os resultados, ser aumentado. Os eléctrodos estão a ser trocados quando, na realidade, ainda não estão a influenciar negativamente os resultados da força de arrancamento. Assim, o tempo de vida dos eléctrodos pode ser alargado, de forma a aumentar o número de soldaduras de cada eléctrodo, o que levará à diminuição dos custos.

Capítulo 5. Conclusões

5.1 Conclusões gerais

Neste estudo analisaram-se os processos ao nível da sua variabilidade e promoveu-se o envolvimento de todos nesta problemática da variação. Os processos com menor variabilidade propiciam níveis melhores de qualidade nos resultados da produção. É muito comum, nas indústrias, que processos industriais não sejam otimizados no sentido de serem caracterizados por altos níveis de eficiência. Na verdade, quanto mais estável estiver o processo, menor será o número de peças defeituosas produzidas e menor será o “retrabalho”, sendo que o custo por peça produzida tende a também diminuir.

Os principais objectivos deste projecto foram:

- elaborar um formulário de recolha de dados, numa folha de Excel, para a recolha e registo dos dados dos ensaios de arrancamento;
- estudar o ensaio de arrancamento com utilização da prensa hidráulica;
- estudar o processo de soldadura por projecção, retirar conclusões sobre as principais causas de soldadura deficiente e propor acções de melhoria com vista a redução da variabilidade e consequente aumento da capacidade do processo.

A elaboração da ferramenta informática para registo dos dados dos ensaios de arrancamento, permitiu recolher os dados de uma forma organizada, clara, precisa e fidedigna, diminuindo significativamente o tempo de registo. Paralelamente, permitiu criar um histórico de ensaios de arrancamento de todas as peças, possibilitando assim a sua consulta a qualquer momento.

Foram vários os estudos efectuados neste projecto para estudar o ensaio de arrancamento com utilização da prensa hidráulica, e consequentemente estudar o processo de soldadura por projecção. Inicialmente efectuou-se um estudo estatístico da força de arrancamento das porcas M8 e M10 das referências 092 e 268. Após este estudo estatístico, identificaram-se as possíveis causas da variabilidade da força de arrancamento dos componentes soldados através de um Diagrama de Causa-e-Efeito, e procedeu-se à implementação e avaliação das várias acções correctivas. Foram definidas, implementadas e avaliadas acções correctivas para as causas que se seguem:

- Insuficiente Formação/Treino dos operadores relativamente ao procedimento correcto para efectuar ensaios de arrancamento;
- Centramento deficiente das porcas nos acessórios de ensaio de arrancamento;
- Orientação incorrecta das bossas, (protuberâncias), das porcas;
- Acessórios de ensaio de arrancamento não apropriados;
- Passagem de corrente da 1ª soldadura (porca nº1 M8) para a segunda soldadura (porca nº2 M8);
- Alteração de parâmetros de soldadura das porcas nº1 e nº2 M8;

- Perdas de corrente por contacto da peça com o porta-eléctrodos;
- Velocidade não uniforme de aplicação da força aquando do ensaio de arrancamento.

Pode concluir-se que após todas as acções correctivas continuou a verificar-se a existência de uma dispersão elevada. Estas conclusões são corroboradas pela análise da capacidade do processo. Foi calculada a capacidade do processo para as seguintes situações: antes da aplicação das acções correctivas, (utilizando a máquina manual); após todas as acções correctivas, (excepto a acção que engloba automatização da máquina manual); e após a automatização da máquina. Conclui-se que apenas uma das porcas da referência 092, apresentou $C_{pk} \geq 1,25$ utilizando a máquina automática. Assim, excepto para o exemplo dado, cada processo, associado a uma porca, não é capaz para a especificação técnica definida por 10kN para as porcas M8 e 11kN para as porcas M10, em nenhuma das situações referidas anteriormente.

Assim, não se pôde concluir que, isoladamente, os factores estudados tenham influência significativa no valor da força de arrancamento. Existirão, portanto, outros factores que, isoladamente ou em conjunto, estarão associados à elevada dispersão dos valores da força de arrancamento.

Relativamente à influência do factor espessura da chapa na força de arrancamento, foram estudadas duas peças com as espessuras de 0,8mm e 1mm, ambas com o mesmo componente, uma porca quadrada M6. Conclui-se que o factor espessura da chapa influencia significativamente a força de arrancamento, maior espessura da chapa, maior a força de arrancamento.

Quanto à influência do factor localização da porca na força de arrancamento, conclui-se que mesmo se tratando de chapas iguais e componentes iguais, o factor localização das porcas influencia significativamente a força de arrancamento.

No estudo do tempo de vida dos eléctrodos e estudo da influência do número de soldaduras dos eléctrodos no valor de arrancamento, ao contrário do que seria de esperar, não há evidências da relação entre estas duas variáveis. Pode-se concluir que o tempo de vida dos eléctrodos poderá, sem prejudicar os resultados, ser alargado. Com isto, o número de soldaduras por eléctrodo aumenta, o que levará à diminuição dos custos.

Uma vez dado o primeiro passo na análise da qualidade da soldadura, através de um ensaio de arrancamento, é preciso ter a noção e a convicção que a melhoria é contínua.

5.2 Limitações do trabalho

Muito embora tenham surgido algumas dificuldades ao longo do estudo, ele apresenta contributos muito importantes para a organização. De seguida são descritas algumas das limitações do trabalho:

A primeira limitação prende-se com o facto de a verificação da qualidade da soldadura pressupor um teste destrutivo. Também as várias experiências e as várias acções implementadas provocam

a destruição da peça. Assim, o número de estudos, experiências e dimensão das amostras, tiveram de ser controlados, uma vez que influenciam o número de peças que vão para a sucata provenientes dos testes destrutivos, o que leva a um aumento de custos para a empresa.

A segunda limitação está relacionada com as decisões de topo, o que em questões temporais limita bastante o estudo. Enumeram-se, apenas, algumas das situações que necessitam, claramente, de decisões de topo: número de peças a serem retiradas da produção para realização dos ensaios de arrancamento; alteração da máquina manual para a forma automática; intervenções por parte da manutenção e por parte da robótica, após a comunicação dos resultados dos estudos; elaboração de novos acessórios de testes; colocação do computador no posto de trabalho para registo dos ensaios de arrancamento, entre outros.

A terceira limitação é relativa à disponibilidade dos operadores de testes para a realização dos ensaios de arrancamento de peças de testes.

5.3 Perspectivas de trabalho futuro

Face ao trabalho desenvolvido seria interessante como desenvolvimento futuro abordar algumas questões importantes, tais como:

- Calibração da máquina automática, para que não existam diferenças significativas entre a máquina do laboratório e a máquina automática da produção;
- Continuar a incidir prioritariamente na diminuição da variabilidade dos processos, definindo novas acções correctivas;
- Rever o tempo de vida dos eléctrodos, para a peça em questão, e aplicar o estudo a outras peças;
- Efectuar a comparação entre soldaduras do mesmo componente em diferentes tipos de chapas, galvanizadas e não galvanizadas;
- Efectuar um estudo da influência de factores controláveis, tais como a corrente, o tempo e/ou outros que se revelem importantes na qualidade da soldadura através do planeamento de experiências.

Referências Bibliográficas

Abad, F., e Bisbe, L. (2002). *Manual de Soldadura por Resistencia*. 2ª edição, Editora Junta de Castilla y León. Valladolid.

Alvelos, H. (2007). *Notas de Apoio à Disciplina de Gestão da Qualidade*. U.A., Aveiro.

Alvelos, H. (2008). *Notas de Apoio à Disciplina de Técnicas Avançadas de Gestão da Qualidade*. U.A., Aveiro.

Araújo, A. (2007). *Projecto para implantação do programa IFSC 5S*. Projecto elaborado durante a Formação de Multiplicadores da Qualidade do Programa de Gestão da Qualidade e Produtividade do IFSC Instituto de Física de São Carlos - Universidade de São Paulo. São Carlos

Aslanlar, S. (2006). The effect of nucleus size on mechanical properties in electrical resistance spot welding of sheets used in automotive industry. *Materials & Design*. 27: 125-131.

Branco, H. (2004). *Avaliação de Capas de Electrodo Utilizadas na Soldagem por Resistência de Chapas Galvanizadas Automotivas*. Dissertação de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Sector de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 116 pp.

Darwish, S., Al-Dekhial, S. (1999). Micro-Hardness of Spot Welded (BS 1050) Commercial Aluminium as Correlated with Welding Variables and Strength Attributes. *Journal of Materials Processing Technology*. 91: 43-51.

Deming, W. (1992). *Quality, Productivity and Competitive Position*. University Press. Cambridge.

Dias, J. (2005). Terminologia da soldadura em Português Europeu. *Confluências - Revista de Tradução científica e técnica*. Editora Maria do Rosário Frade Durão, pp. 112-148. Lisboa.

Gonzalez, E. (2002). *Análise do Processo de Trabalho através da Programação de Obra e do 5S, baseado na Construção Enxuta*. Dissertação de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2047 pp.

Guimarães, R., e J. Cabral. (2007). *Estatística*. 2ª edição. Edições McGraw-Hill. Madrid.

Jeffus, L. (2003). *Welding Principles and Applications*. 5th ed., Thomson Delmar Learning. Austrália.

Juran, J. e Gryna, F. (1988). *Juran's quality control handbook*. 4th ed., McGraw-Hill. New York.

Lima, I. (2007). *Manual Sistema Gestão Qualidade & Ambiente da Gestamp Aveiro*. Nogueira do Cravo, Aveiro.

- Lima, I. (2006). *Declaração Ambiental da Gestamp Aveiro*. Nogueira do Cravo, Aveiro.
- Maroco, J. (2007). *Análise Estatística com utilização do SPSS*. 3ª edição, Edições Sílabo. Lisboa.
- Marques, P., Modenesi, P. e Bracarense, A. (2007). *Soldagem Fundamentos e Tecnologia*. 2ª edição, Editora UFMG. Belo Horizonte.
- Norma C21 4210 (2005). *Ecrans Hexagonaux a Souder*. France.
- Paes, M., Guimarães, A. e Rebello, J. (1989). Significância da Expulsão e do Tipo de Fratura em Soldagem por Pontos. *Soldagem e Materiais*. 1: 51-57.
- Pereira, A. (2006). *Notas de Apoio à Disciplina de Tecnologia dos Processos de Ligação*. U.A., Aveiro.
- Pereira, Z. e Requeijo, J. (2008). *Qualidade Planeamento e Controlo Estatístico de Processos*. 1ª edição, Edições Prefácio. Lisboa
- Pestana, M., e Gageiro, J. (2008). *Análise de Dados para Ciências Sociais: a Complementaridade do SPSS*. 5ª edição, Edições Sílabo. Lisboa.
- Santos, F. B. (2006). *Estudo da Eficiência do Processo de Soldagem de Pontos por Resistência Elétrica utilizada na Indústria Automobilística*. Tese de Mestrado em Sistemas de Gestão. Laboratório de Tecnologia, Gestão de Negócios e Meio Ambiente - Universidade Federal Fluminense, Niterói. 104 pp.
- Santos, J., e Quintino, L. (1998). *Processos de Soldadura*. 2ª edição, Edições Técnicas do Instituto de Soldadura e Qualidade. Oeiras.
- Vasconcelos, J. (2008). *Notas de Apoio à Disciplina de Análise de Dados*. U.A., Aveiro.
- Wainer, E., Brandi, S., Mello, F. (2004). *Soldagem processos e metalurgia*. Editora Edgard blucher Ltda. São Paulo.

Sites Consultados

- American Welding Society. (1997). Acedido em 10 de Janeiro de 2009 em: <http://www.aws.org/w/a/>
- Metodologia 5S. (2004). Benefícios da sua aplicação num Sistema de Saúde. Adaptado do "Guia para a auto-implementação da metodologia 5S nas organizações de saúde", do País Basco. Acedido a 1 de Fevereiro de 2009 em: <http://www.scribd.com/doc/3958800/Metodologia-5S>

Anexos

Anexo A. Prensa hidráulica manual - ensaios de arrancamento.



Figura A1. Prensa de ensaios de arrancamento - prensa manual.

Fonte: Gestamp Aveiro



Figura A2. Prensa de ensaios de arrancamento - prensa manual com utilização da alavanca.

Fonte: Gestamp Aveiro

Anexo B. Instrução de Trabalho – Ensaio de Arrancamento

Material necessário:

Prensa hidráulica

Acessórios inferiores

Acessórios superiores

Parafuso teste

Luvas de Protecção (é sempre obrigatório a sua utilização)

Procedimento:

1. Escolher acessório inferior e superior;
2. No caso de o elemento soldado ser uma porca é necessário roscar um parafuso, de forma a obter-se uma superfície para aplicação da força vertical;
3. Colocar a peça a testar entre os acessórios;
4. Ajustar os acessórios à peça;
5. Aplicar a força até se verificar a cedência do elemento soldado.

Conclusão:

A soldadura está conforme quando após o arranque do elemento soldado se verifica que houve rompimento do material de base e associado a este rompimento corresponde a uma força em kN definida na gama, (caso exista). A realização deste ensaio, em porcas e em parafusos, é apresentado esquematicamente nas figuras B1 e B2.



Figura B1. Ensaio de compressão em porcas soldadas.

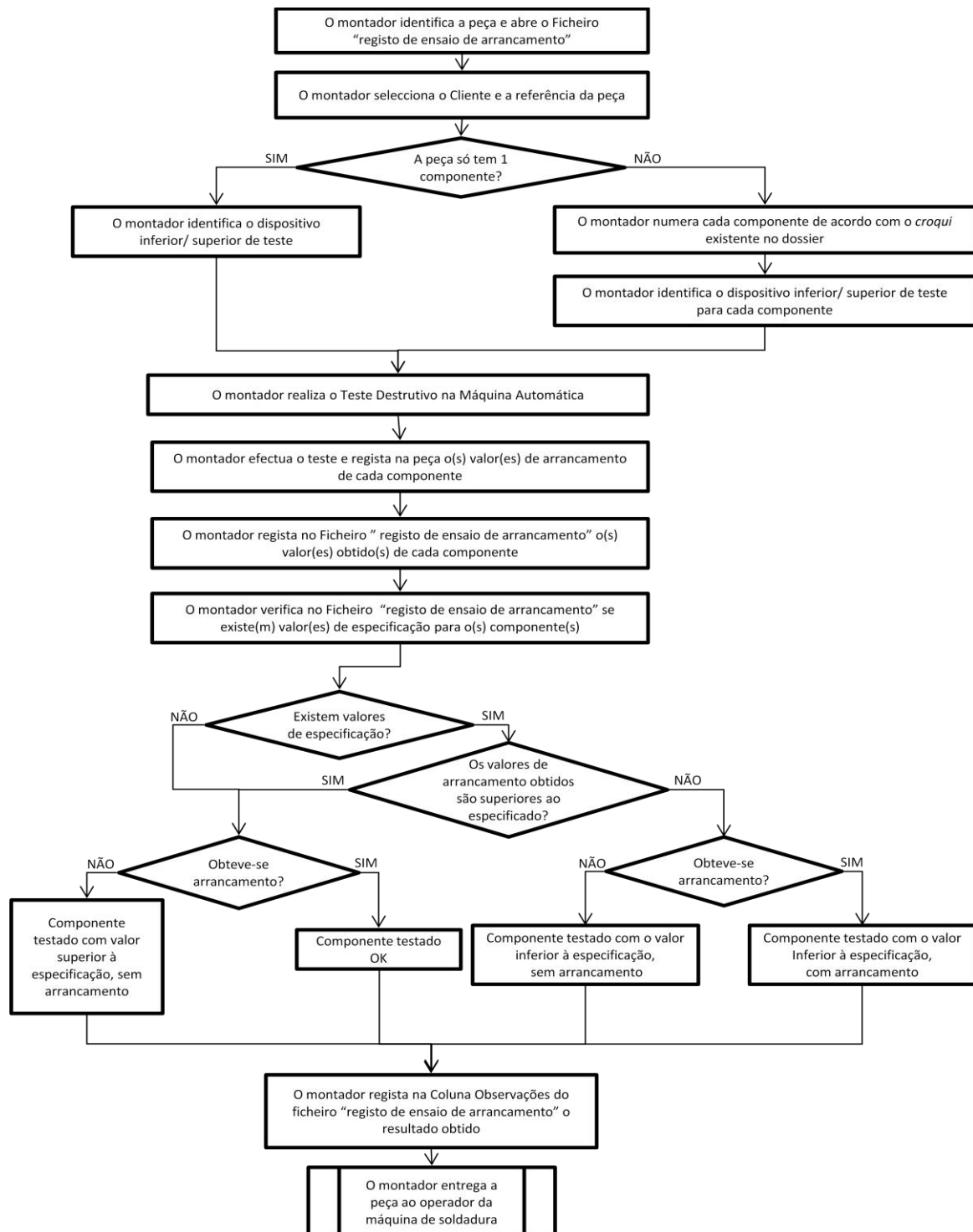
Fonte: Gestamp Aveiro



Figura B2. Ensaio de compressão em parafusos soldados.

Fonte: Gestamp Aveiro

Anexo C. Fluxograma do processo de ensaio de arrancamento.



Anexo D. Acessórios de ensaios de arrancamento numerados.



Fonte: Gestamp Aveiro

Anexo E. Formulário de recolha de dados - folha de rosto.



REGISTO DE ENSAIOS DE ARRANCAMENTO
ALA NORTE

WVW40KLE



Anexo F. Prensa de ensaios de arrancamento - forma automática.



Fonte: Gestamp Aveiro



Fonte: Gestamp Aveiro

Anexo G. Comparação múltipla de médias - factor localização da porca.

(I) localização	(J) localização	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	-0,0774	0,0982	0,969	-0,358	0,203
	3	1,7811(*)	0,0982	0,000	1,501	2,061
	4	2,0524(*)	0,0980	0,000	1,773	2,332
	6	-0,1501	0,0977	0,641	-0,429	0,129
	7	-0,0598	0,0983	0,990	-0,340	0,221
2	1	0,0774	0,0982	0,969	-0,203	0,358
	3	1,8585(*)	0,0982	0,000	1,578	2,139
	4	2,1298(*)	0,0980	0,000	1,850	2,410
	6	-0,0727	0,0977	0,976	-0,352	0,206
	7	0,0177	0,0983	1,000	-0,263	0,298
3	1	-1,7811(*)	0,0982	0,000	-2,061	-1,501
	2	-1,8585(*)	0,0982	0,000	-2,139	-1,578
	4	0,2713	0,0980	0,064	-0,009	0,551
	6	-1,9312(*)	0,0977	0,000	-2,210	-1,652
	7	-1,8409(*)	0,0983	0,000	-2,122	-1,560
4	1	-2,0524(*)	0,0980	0,000	-2,332	-1,773
	2	-2,1298(*)	0,0980	0,000	-2,410	-1,850
	3	-0,2713	0,0980	0,064	-0,551	0,009
	6	-2,2025(*)	0,0976	0,000	-2,481	-1,924
	7	-2,1122(*)	0,0982	0,000	-2,392	-1,832
6	1	0,1501	0,0977	0,641	-0,129	0,429
	2	0,0727	0,0977	0,976	-0,206	0,352
	3	1,9312(*)	0,0977	0,000	1,652	2,210
	4	2,2025(*)	0,0976	0,000	1,924	2,481
	7	0,0904	0,0979	0,941	-0,189	0,370
7	1	0,0598	0,0983	0,990	-0,221	0,340
	2	-0,0177	0,0983	1,000	-0,298	0,263
	3	1,8409(*)	0,0983	0,000	1,560	2,122
	4	2,1122(*)	0,0982	0,000	1,832	2,392
	6	-0,0904	0,0979	0,941	-0,370	0,189

* The mean difference is significant at the 0.05 level.

Anexo H. Eléctrodos.



Figura H1. Eléctrodos após n soldaduras.

Fonte: Gestamp Aveiro

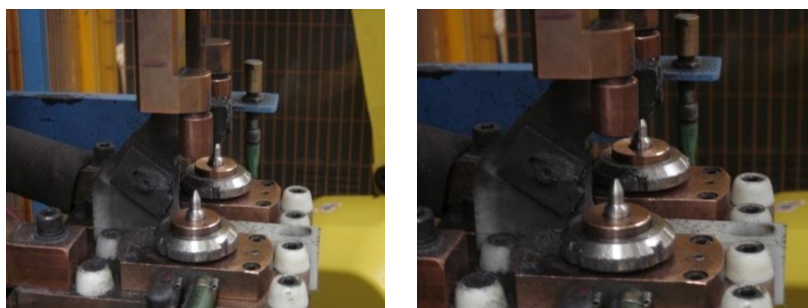


Figura H2. Eléctrodos novos.

Fonte: Gestamp Aveiro